

В. Окрепилов

Стандартизация и метрология в нанотехнологиях



«Наука»

620
0-51

В. В. Окретиллов

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ



Санкт-Петербург
«Наука»
2008

Рецензенты:

член-корреспондент РАН, проф. *М. П. Федоров*,
д-р техн. наук, проф. *В. Н. Крутиков*

Окрепилов В. В. Стандартизация и метрология в нанотехнологиях. – СПб.: Наука, 2008. – 260 с.

ISBN 978-5-02-025339-1

Монография впервые освещает место и роль стандартизации и метрологии при действиях с объектами, относящимися к нанодиапазону.

В книге содержатся сведения о разрабатываемых международных и национальных стандартах в области наноиндустрии, совершенствовании эталонной базы, создании системы информационного обеспечения проводимых работ.

Книга предназначена для ученых и специалистов, вовлеченных в процесс разработки, производства и применения нанотехнологий, наноматериалов и другой нанопродукции, а также создающих средства измерений и разрабатывающих нормативно-технические документы в области наноиндустрии. Книга может быть полезна при обучении специалистов, связанных с нанотехнологиями, и будет интересна широкому кругу читателей, изучающих развитие науки и техники.

© Окрепилов В. В., 2008
© СПбГПУ, 2008
© Издательство «Наука», 2008

ISBN 978-5-02-025339-1

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Введение	6
Глава 1. Нанотехнологии: основные понятия	11
1.1. Термины и определения в области нанотехнологий.....	11
1.2. История развития нанотехнологий	22
Глава 2. Стандартизация в нанотехнологиях	45
2.1. Стандартизация как элемент системы технического регулирования.....	46
2.2. Особенности стандартизации в области нанотехнологий.....	62
2.3. Работа российских и зарубежных организаций по стандартизации в области нанотехнологий	69
Глава 3. Метрология в нанотехнологиях	85
3.1. Обеспечение единства измерений в системе технического регулирования.....	85
3.2. Особенности измерений в области нанотехнологий.....	103
3.3. Метрологическое обеспечение измерений в нанотехнологиях	145
Глава 4. Государственное регулирование сферы нанотехнологий в России ..	155
4.1. Государственная поддержка развития нанотехнологий.....	155
4.2. Создание системы оценки и подтверждения соответствия нанотехнологий и наноматериалов.....	172
Заключение	196
Литература	198
Приложения	208

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие цивилизации изобилует примерами, когда уникальные научные открытия, новые технологии и материалы кардинальным образом изменяли производственную и социальную сферу деятельности человека. Достаточно вспомнить, какую роль сыграли в жизни людей изобретения электричества, радио, атомной энергии, компьютеров и т. д.

Мы все чаще слышим термины: нанонаука, нанотехнологии, наноструктурированные материалы и объекты. Они становятся приоритетным направлением научно-технической политики всех развитых стран.

В России работы по созданию нанотехнологий были начаты еще 50 лет назад, но велись ограничено, лишь в отдельных академических и отраслевых институтах. В настоящее время с учетом признания важной роли нанотехнологий на самом высоком государственном уровне сформированы основные направления развития этой сферы в общефедеральном масштабе.

Развертывание работ на базе существующего научного задела позволит России поддерживать паритет с ведущими государствами в области нанотехнологий, а также поможет достигнуть стабильного экономического роста и осуществить дальнейшее повышение качества жизни населения. Прорыв в применении нанотехнологий и наноматериалов будет способствовать развитию фундаментальной науки, образования и культуры, обеспечению национальной безопасности страны.

В зарубежной и отечественной литературе за последние годы появился не один десяток книг, различных по тематике, объему и уровню, способствующих познанию и внедрению нанотехнологий.

Но среди всех источников информации наблюдается пробел в освещении роли и места стандартизации и метрологии для нанотехнологий. Между тем, значение этих инструментов в данной сфере исследований и производства невозможно переоценить, так как неотвратимо действует правило: «если нельзя измерить, то невозможно создать».

Бурно развивающейся отрасли nanoиндустрии уже сейчас необходимо солидное нормативное и метрологическое обеспечение. И это убедительно показано в представляемой читателю книге члена-корреспондента РАН В.В. Окрепилова.

В книге впервые показана необходимость комплексного использования стандартов и средств измерений в нанотехнологиях на всех стадиях жизненного цикла нанопродукции.

Книга «Стандартизация и метрология» позволит широкому кругу читателей ознакомиться с основными понятиями, этапами и перспективами развития nanoиндустрии. Она также окажет неоценимую помощь в учебном процессе при подготовке метрологов, стандартизаторов, экспертов и других специалистов, призванных посвятить свою деятельность развитию нанотехнологий в нашей стране.

Ю. С. Васильев, академик РАН,
почетный академик
Метрологической академии

ВВЕДЕНИЕ

В начале двадцать первого века мир стоит на пороге качественных изменений: ученые и специалисты говорят о новой, третьей научно-технической революции, которая связана с нанотехнологиями. Само слово «нано» происходит от греческого слова *nanos*, что означает «карлик» и соответствует одной миллиардной части исходной величины. Для сравнения: средний диаметр волоса человека — 30 мкм или 30×10^{-6} м, то есть наносфера оперирует объектами, размеры которых в тысячу раз меньше, чем средний диаметр человеческого волоса.

Однако размеры — не самое главное. Принципиальным отличием нанотехнологий является квантовый характер нанообъектов и нанопроцессов и уникальная возможность целенаправленной сборки веществ на атомно-молекулярном уровне. И этим нанореволюция отличается от предшествовавших ей двух научно-технических революций. Первая — индустриальная или энергетическая, менявшая облик мира со второй половины восемнадцатого века, — была связана с качественными изменениями использования производимой энергии, переходом от мануфактуры к машинному производству, перестройкой экономик государств. Вторая — информационная, произошедшая в семидесятые годы двадцатого века, — связана с качественными изменениями в процессах получения, переработки, хранения и передачи информации. Всего за несколько десятилетий интегральные микросхемы, компьютеры до неузнаваемости изменили наш мир.

Но до сих пор производственные процессы были связаны как с неэффективным использованием сырья, так и с массовым производством отходов (в потребительский продукт превращается только 1,5 % исходного сырья, остальная же часть оказывается в отходах). Это связано с тем, что до сих пор промышленность действует по принципу «сверху вниз», т. е. продукт получается путем отделения частей от более крупной заготовки. Очевиден тупик такого развития, поскольку все ресурсы конечны [7; 15].

Нанотехнологии предлагают процесс «снизу вверх», т. е. создание материалов с заранее заданными свойствами из отдельных молекул и атомов. А поскольку при нанотехнологиях практически безразлично, какие объекты собирать, при условии наличия схемы сборки объекта, то получается, что практически любые предметы будут стоить ровно столько, сколько стоит потраченная на сборку энергия. Точно так же миллиарды лет поступает природа, когда из элементарных клеток вырастают разнообразные живые организмы. Иными словами, революционным образом меняется парадигма всего научно-технического прогресса. Если ранее основной целью развития индустриального общества было изучение человека и перестройка природы согласно его потребностям и возможностям, то нанореволюция ставит своей целью воспроизведение систем живой природы и создание биоробототехнических систем. Тем более что живой мир показывает нам примеры использования нанотехнологий. Например, природной нанолaborаторией обладает обыкновенный паук, чья паутина в пять раз прочнее стальной проволоки того же диаметра. Моллюск морское ушко выращивает прочную раковину, склеивая особой смесью белков с углеводами наночастицы мела, которые не дают распространяться трещинам.

Таким образом, ученые получают возможность не только изучать мир, но и создавать его своими руками. Синтез вместо анализа. Проще можно сказать, что создаваемые нанороботы будут разбирать вселенную на атомы, а потом из этих атомов ее снова складывать. По существу изменения затрагивают основу современной науки — атомы и молекулы, а значит, затрагивают все отрасли. Нанотехнологии — это новая технологическая культура, создание рынка принципиально новой продукции, объединение возмож-

ностей современных технологий и живой природы, а следовательно, изменение технологического и социально-экономического уклада общества.

Свойства наноструктурированных материалов кардинально отличаются от свойств обычных материалов. Более того, ряд наноматериалов обладает уникальными свойствами. Например, бездефектные углеродные трубки на два порядка прочнее стали и примерно в четыре раза легче ее. Сегодня возможно мгновенное измерение уровня холестерина, а значит определение риска сердечных приступов по капле слюны человека. Наномедицина лечит не болезнь, а больного, ибо лекарства доставляются именно в те клетки, которые необходимо вылечить. Идут успешные эксперименты по прямому превращению энергии радиоактивных частиц в электричество. Нанопокрывание на основе силиката кремния защищает полимеры не только от биологических и химических агентов, но даже от удара пули. Нанотехнологии позволили создать одежду, которая самостоятельно очищается от загрязнений, одежду, которая может производить электроэнергию. Одни только покрытия из нанокерамики применяются в 150 областях. Это и валы пропеллеров, и выдвижные корпуса телескопов и т. д.

Более того, наноиндустрия может дать мощный импульс развитию не только ведущим государствам, но и странам третьего мира, чья экономика может перейти с сырьевого пути развития на интенсивный инновационный.

Начинающаяся нанореволюция неизбежно приведет к изменению технологического (через создание новой технологической культуры) и социально-экономического (в связи с появлением рынка принципиально новой продукции, объединением возможностей современных технологий и живой природы) укладов общества. Новые продукты, производство которых не требует огромных цехов, гигантских затрат энергии, не дает отходов, — вот качественно новый фундамент для развития новой экономики двадцать первого века. А это в свою очередь приведет к общему подъему образования и профессионального уровня ученых и спе-

циалистов, создаст качественно новый технологический уровень других отраслей промышленности.

Развитие нанотехнологий ставит особые задачи перед стандартизацией и метрологией.

На то есть многие причины.

Во-первых, как и любая сфера деятельности, нанотехнологии нуждаются в установлении четкого порядка. А именно стандартизация является общепризнанным инструментом упорядочения любой деятельности. Роль стандартизации заключается в создании строго регламентируемой системы понятий, характеристик, методов и средств, оценки, контроля и испытаний, охватывающих весь жизненный цикл, — от стадии научного поиска до применения и утилизации.

Во-вторых, одной из особенностей сферы нанотехнологий является действие в ней физических законов, отличных от законов макромира. Это неизбежно сказывается на применяемых здесь методах и средствах исследований и измерений. Требуются совершенно новые приборы, а порой и сами принципы измерений. Необходима унификация и четкая классификация метрологического оборудования, в частности сканирующих микроскопов. Не исключено также появление новых единиц физических величин для целей измерений в нанодиапазоне.

В-третьих, в настоящее время наблюдается активное развитие нанотехнологий, переход от лабораторных исследований к массовому выпуску различной нанопродукции, промышленному использованию достижений наноиндустрии. Совершенно очевидно, что серийное производство наноизделий немислимо без стандартов и средств измерений.

И в-четвертых, вне поля зрения ученых и специалистов остаются вопросы безопасности внедрения нанотехнологий, производства и применения нанопродукции. В настоящее время методы определения риска, токсичности нанопродуктов, воздействия наночастиц на человека малоэффективны или вообще отсутствуют. Поэтому для адекватной оценки наноматериалов необходима разработка соответствующих стандартов и организация системы

оценки и подтверждения соответствия нанопродукции установленным нормативным требованиям.

Для создания рынка наукоемкой продукции в России, с одной стороны, надо защитить его стандартами, а с другой, гармонизируя нормы этих стандартов с международными требованиями, — сделать привлекательным для наших потенциальных торговых партнеров. Другими словами, стандартизация и метрология должны помочь нашим ученым в создании конкурентоспособной нанопродукции.

В данной книге автором даны определения основных понятий в области нанотехнологий, описан инструментарий и приведен ряд документов из этой области. Также изложено видение основных проблем стандартизации и метрологии применительно к наносфере, проанализирована сложившаяся ситуация и предложены возможные способы решения этих проблем.

Глава 1

НАНОТЕХНОЛОГИИ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Термины и определения в области нанотехнологий

Границы наномира еще не определены достаточно четко, поскольку он находится еще в периоде становления. Терминология в нанобласти не установилась окончательно. Не определено, что считать предметом ее ведения — то ли размер частиц, то ли сущность самой технологии. Более того, ввиду бурного развития в настоящее время этой отрасли не исключена возможность того, что сегодняшние определения могут завтра оказаться неполными и даже устаревшими. Тем не менее автор считает, что можно привести ряд определений, которые в достаточной степени отражают современную трактовку и суть основных понятий в области нанотехнологий.

Одним из основных и обобщающих понятий в данной сфере является понятие «**наноиндустрия**». Под этим термином понимается интегрированный комплекс производственных, научных, образовательных и финансовых организаций различных форм собственности, осуществляющих целенаправленную деятельность по созданию интеллектуальной и промышленной конкурентоспособной продукции, относящейся к сфере нанотехнологий [102].

По существу наноиндустрия представляет собой наукоемкую и универсальную отрасль, связанную с манипуляциями атомами и молекулами и обеспечивающую создание продукции на основе нанотехнологий, наноматериалов и наносистемной техники [4].

Наноиндустрия включает в себя нанонауку, нанотехнологии, сырье, материалы, технологическое оборудование, нанопroduкцию, а также кадровое обеспечение специалистами соответствующего профиля (рис. 1).

Нанонаука: 1. Фундаментальные исследования в области физики, химии, биологии и других областях знаний, позволяющие изучать объекты с размером частиц в нанометр и проводимые для получения совокупности знаний о структуре и особенностях поведения вещества в нанометровом масштабе [106].

2. Система знаний, основанная на описании, объяснении и предсказании свойств материальных объектов с нанометрическими характеристическими размерами или систем более высокого метрического уровня, упорядоченных или самоупорядоченных на основе наноразмерных элементов [93].

Определений понятия «нанотехнология» насчитывают десятками. Различные определения, как правило, не противоречат, а скорее, дополняют друг друга. В то же время каждое из них, взятое в отдельности, невозможно признать достаточным. В этой связи автор считает целесообразным привести несколько определений понятия «нанотехнология», чтобы наиболее четко и с различных точек зрения осветить его содержание.

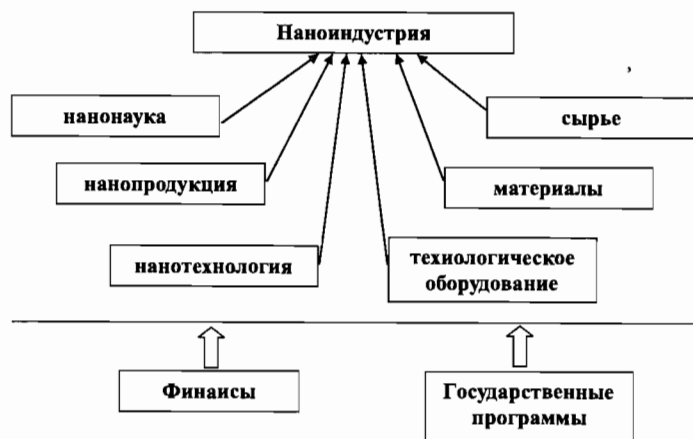


Рис. 1. Структура наноиндустрии.

Нанотехнология: 1. Совокупность методов и приемов, применяемых при изучении, проектировании, производстве и использовании структур, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и модификацию формы, размера, интеграции и взаимодействия составляющих их наномасштабных элементов для получения объектов с новыми химическими, физическими, биологическими свойствами [102].

2. Междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, имеющая дело с совокупностью теоретического обоснования, практических методов исследования, анализа и синтеза, а также методов производства и применения продуктов с заданной атомарной структурой путем контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами [106].

3. Исследования и технологические разработки на атомарном, молекулярном или макромолекулярном уровне в шкале размеров приблизительно от 1 до 100 нм, проводимые для приобретения фундаментальных знаний о природе явлений и свойствах материалов в наномасштабе и для создания и использования структур, приборов и систем, которые обладают новыми качествами благодаря своим маленьким размерам. Нанотехнологические исследования и разработки включают контролируемые манипуляции наноразмерными структурами и их интеграцию в более крупные компоненты, системы и архитектуры [33].

4. Комплекс научных и инженерных дисциплин, исследующих процессы, происходящие в атомном и молекулярном масштабах.

5. Совокупность методов и способов синтеза, сборки, структуры и формообразования, нанесения, удаления и модифицирования материалов, включая систему знаний, навыков, умений, аппаратное, материаловедческое, метрологическое, информационное обеспечение процессов и технологических операций, направленных на создание материалов и систем с новыми свойствами, обусловленными проявлением наномасштабных факторов [93].

6. Сумма технологий и сумма методов обработки материалов, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами, а также с отдельными биологическими объектами с целью получения новых материалов, приборов и устройств, формиро-

вания приборных структур с характерными размерами порядка 10–100 нм [54].

7. Совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществить их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба [4].

Таким образом, видно, что в сегодняшних определениях за основу термина взят размер частицы, что не совсем точно отражает специфику нанотехнологии, которая качественно отличается от привычных процессов. Следует отметить, что неотъемлемой чертой современной нанотехнологии являются научные исследования. Поэтому, например, С. Вильямс, руководитель поисковых исследований Hewlett-Packard Company предпочитает использовать термин «нанонаука» вместо «нанотехнологии», т. к. последние ассоциируются у него с «производством, размещенным в спичечном коробке».

Нанопфизика — наука о свойствах элементов, имеющих наноразмеры [106].

Необходимо учитывать, что при наномасштабах макротехнологии зачастую неприменимы, а микроскопические явления — свойства и взаимодействие отдельных атомов и молекул, квантовые эффекты — пренебрежительно слабые при макромасштабах, становятся намного значительнее. Вследствие этого классическая теория термодинамики теряет свою строгость и незыблемость. Периодически появляются сообщения о нарушении второго закона термодинамики.

Нанозлектроника — отрасль электроники, занимающаяся разработкой физических и технологических основ создания интегральных электронных схем с характерными топологическими размерами элементов менее 100 нм [106].

Эксперты ожидают, что в ближайшие два-три года изделия нанозлектроники составят не менее трети общего рынка нанопродукции.

Как отмечает руководитель секции нанозлектроники Комиссии РАН по нанотехнологиям академик А.Л. Асеев, нанозлектроника позволяет перейти на квантовые компьютеры, которые будут иметь качественно другую скорость вычислений и алгоритмическую базу [94]. Более того, изделия нанозлектроники обещают быть чрезвычайно дешевыми. Например, цена микросхем из полимеров может составлять всего 1–2 процента от затрат на изготовление чипов из кремния.

Нанобиотехнология (или бионанотехнология): 1. Раздел в нанотехнологиях, занимающийся изучением и воздействием объектов нанодиапазона на биологические объекты и их использованием для развития наномедицины — главной составляющей нанобиотехнологий [106].

Последняя в свою очередь занимается созданием нанолечений, диагностических систем на основе наночастиц, разработкой медицинских нанороботов и созданием медицинских наноматериалов. В будущем задачей наномедицины станет слежение, исправление, генетическая коррекция и контроль биологических систем организма человека на молекулярном уровне, используя наноустройства (наноизделия), наноструктуры и информационные технологии.

2. Конструирование новых изделий, материалов и устройств на основе естественных или синтетических макромолекул, конструирование новых биологических структур на основе синтетических биополимеров [98].

Конечной целью nanoиндустрии с экономической точки зрения является создание конкурентоспособной промышленной и интеллектуальной продукции — наноизделий.

Наноизделия — изделия, представляющие собой комбинации атомов и молекул [106].

На современном этапе они представлены нанопорошками (т. е. вещество с размерами частиц менее 100 нанометров), которые можно добавлять в разные материалы: полимеры, керамику, металлы и т. д.

Иногда вместо термина «наноизделия» употребляется термин **нанопродукция**. Однако под этим все же следует понимать

привычные изделия, при производстве которых использовалась нанотехнология.

Взаимосвязь частей производственного процесса нанотехнологии представлена на рис. 2. Как видно, конечной является продукция, включающая наноматериалы или промежуточную продукцию, выпуск которой завершает производственную цепочку. Сырьем для получения промежуточной нанопродукции, т. е. продукции, также включающей наноматериалы или изготовленной в наномасштабе, выступают наноматериалы.

Что касается понятия «наноматериалы», то здесь также следует отметить наличие множества определений, встретившихся автору в различных авторитетных источниках.

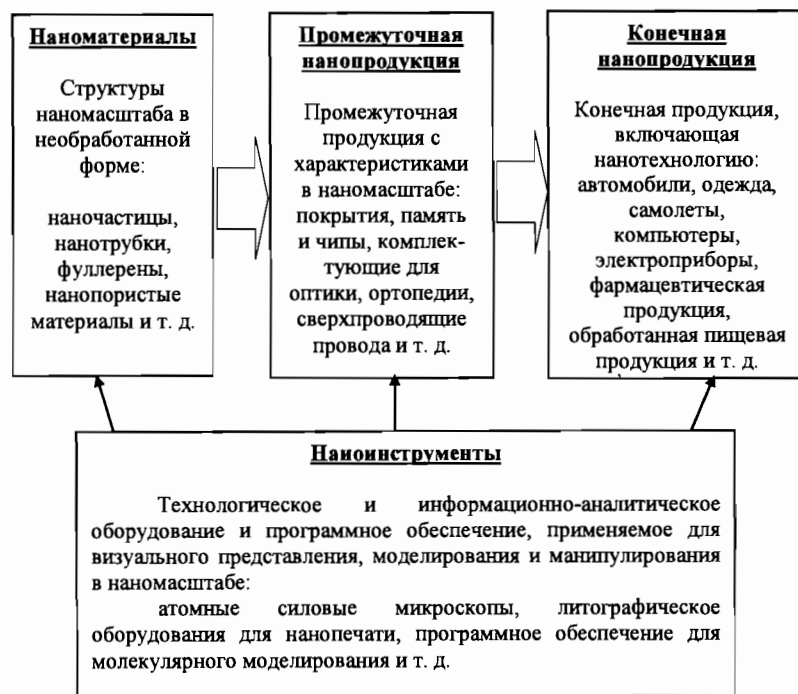


Рис. 2. Взаимосвязь частей производственного процесса в нанотехнологии

— 488564 —

Наноматериалы: 1. Разнообразие продукции нанотехнологии в виде материалов, содержащих структурные элементы с нанометровыми размерами, наличие которых обеспечивает существенное улучшение или появление качественно новых механических, химических, физических, биологических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов [102].

2. Элементы, в которых есть структуры, имеющие наноразмеры и определяющие свойства таких элементов [45].

3. Структуры материала, размер которых составляет менее 100 нм с размерозависимыми свойствами [49].

4. Вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную или неупорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов, обеспечивающих возникновение у материалов и систем совокупности ранее неизвестных механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов [93].

На основе анализа приведенных трактовок, можно выделить основные типы наноматериалов: нанопорошки, нанокомпозиты, нанопленки, нанотрубки и др. (рис. 3.).

По всей производственной цепочке в нанотехнологии для обеспечения процесса создания нанопродукции используются различные нанотехнологические инструменты.

Нанотехнологические инструменты — технический инструментарий и программное обеспечение, применяемое для визуального представления, моделирования и манипулирования в наномасштабе. К ним, в частности, относятся магнитные нанощипцы, нейзонды, наношприцы, зондовые сканирующие микроскопы и др. [44].

Нельзя обойти вниманием такое понятие, как «нанодиагностика», задачами которой являются: сбор и обработка данных, характеризующих объекты наномира.

Нанодиагностика: 1. Комплекс методов, направленных на определение характеристик нановеществ, а также определение характеристик объекта по характеристикам входящих в него наноструктур [166].



Рис. 3. Основные типы наноматериалов

2. Совокупность специализированных методов исследований, направленных на изучение структурных, морфолого-топологических, механических, электрофизических, оптических, биологических характеристик наноматериалов и наносистем, анализ нанокolicеств вещества, измерение метрических параметров с наноточностью [93].

Следует отметить, что методы изучения в наномире коренным образом отличаются от принятых в макромире. Например, в сканирующей зондовой микроскопии детектируется результат взаимодействия твердотельного механического зонда в виде иглы с поверхностью объекта. Выражаясь простым языком: если в оптическом или электронном микроскопе образец «осматривается», то в зондовой микроскопии он «ощупывается».

Нанометрология — новое направление в метрологии, с которым связаны все теоретические и практические аспекты метрологического обеспечения единства измерений в нанотехнологиях. В первую очередь — это эталоны физических величин и эталон-

ные установки, а также стандартные образцы состава, структуры и свойств для обеспечения передачи размера единиц физических величин в нанодиапазоне. Во-вторых, это аттестованные или стандартизованные методики измерений физико-химических параметров и свойств объектов нанотехнологий, а также методики калибровки (поверки) самих средств измерений, применяемых в нанотехнологиях. В-третьих, это метрологическое сопровождение самих технологических процессов производства материалов, структур, объектов и иной продукции нанотехнологий.

Определив основные понятия в области нанотехнологий, на наш взгляд, следует более детально определить наномасштаб среди других измеряемых объектов.

В метрической системе мер для обозначения больших или меньших значений физических величин приняты десятичные кратные и дольные единицы [37], получаемые путем умножения их на число 10 в соответствующей положительной (для кратных единиц) или отрицательной (для дольных единиц) степени. Кратные и дольные единицы образуются путем присоединения к наименованию исходной единицы соответствующей приставки. В 1791–1795 гг. при первом введении метрической системы во Франции было принято наименования таких приставок для кратных единиц брать из греческого языка, а для дольных — из латинского. Тогда были приняты приставки кило (10^3), гекто (10^2) и дека (10^1), а также деци (10^{-1}), санти (10^{-2}) и милли (10^{-3}).

В дальнейшем по мере развития науки и техники и соответствия возникновения потребности в повышении точности измерений диапазон кратных и дольных единиц расширялся как в сторону больших, так и меньших значений. В 1870 году появились приставки мега (10^6) и микро (10^{-6}). Затем были введены приставки гига (10^9), нано (10^{-9}), тера (10^{12}), пико (10^{-12}). В 1964 году были приняты приставки фемто (10^{-15}) и атто (10^{-18}), а в 1975 — пета (10^{15}) и экса (10^{18}) (табл. 1).

Стоит напомнить, что атомная и квантовая физика оперируют таким понятием, как 1 ангстрем — 1 \AA или 10^{-10} м . 1 \AA соответствует диаметру атома водорода. Таким образом, $1 \text{ нм} = 10 \text{ \AA}$.

Таблица 1

Множители и приставки СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка СИ	Обозначение приставки	
		международное	русское
1 000 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁸	экса	E	Э
1 000 000 000 000 000 = 10 ¹⁵	пета	P	П
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	тера	T	Т
1 000 000 000 = 10 ⁹	гига	G	Г
1 000 000 = 10 ⁶	мега	M	М
1 000 = 10 ³	кило	k	к
100 = 10 ²	гекто	h	г
10 = 10 ¹	дека	da	да
0,1 = 10 ⁻¹	деци	d	д
0,01 = 10 ⁻²	санти	c	с
0,001 = 10 ⁻³	милли	m	м
0,000 001 = 10 ⁻⁶	микро		мк
0,000 000 001 = 10 ⁻⁹	нано	p	н
0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	пико	p	п
0,000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁵	фемто	f	ф
0,000 000 000 000 000 001 = 10 ⁻¹⁸	атто	a	а

Наиболее наглядно наномасштаб можно представить, если сопоставить линейные размеры известных живых и искусственных объектов (рис. 4.). Нанодиапазоном принято считать длину от 1 до 100 нм. В этом диапазоне находятся наиболее распространенные изделия нанотехнологии — нанотрубки, а также элементы сверхбольших интегральных схем, имеющие размеры порядка 100 нм. Если учесть, что диаметр спиральной молекулы ДНК составляет примерно 20 нм, а масштаб вирусов лежит в пределах 100 нм, то можно представить появление широких возможностей для

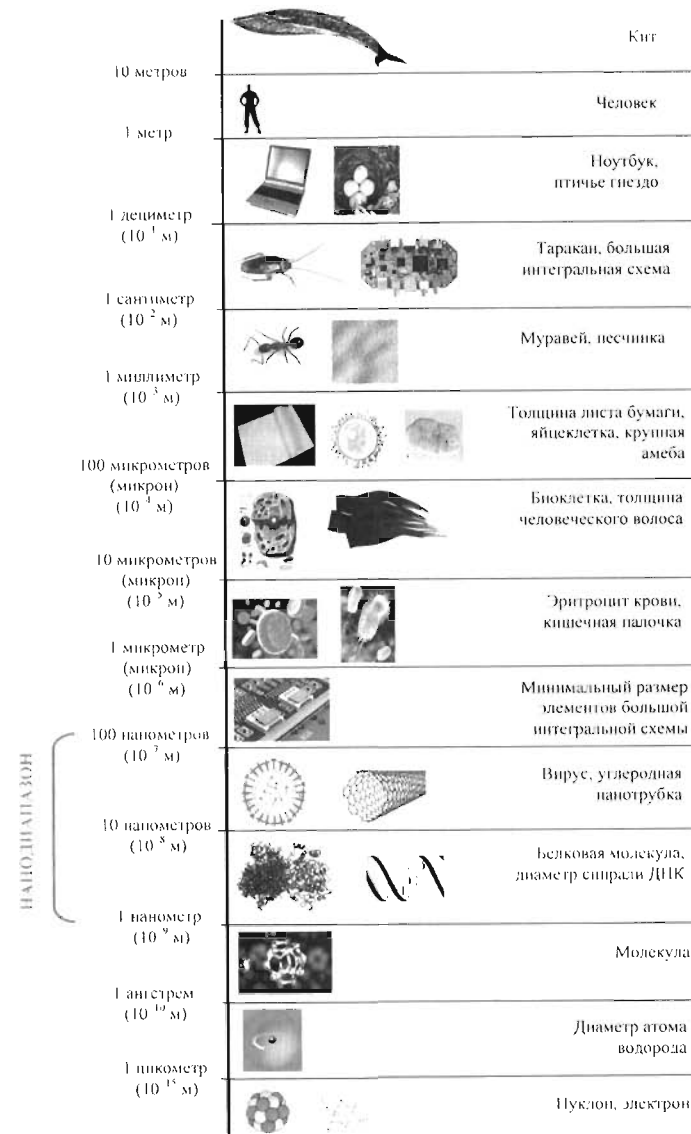


Рис. 4. Шкала линейных размеров различных живых и искусственных объектов

совмещения искусственных технологий и живой природы, создания «умных» лекарств, избирательно воздействующих на организм, а в перспективе и создание комбинированных живых организмов (биоробототехнические системы).

Изучение любой области научных знаний не может быть плодотворным без изучения истории ее развития. Анализ эволюции позволяет выявить тенденции развития данного явления, увидеть его истоки в прошлом, получить представление о подходах и путях решения задач в этой области на современном этапе. Истории развития нанотехнологий автором посвящен следующий параграф книги.

1.2. История развития нанотехнологий

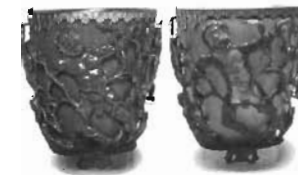
«Отцом» современных нанотехнологий можно считать древнегреческого философа Демокрита, который примерно в 400 г. до н.э. впервые употребил слово «атом», представляя устройство бытия, и развил свое учение, став одним из основоположников атомизма. Демокрит на много веков вперед предвосхитил развитие науки, определив **атом** как мельчайшее тело, не подверженное никаким изменениям. Только в XVII веке ученым удалось экспериментально подтвердить идею об атоме как о наименьшей неделимой части материи, показав, что некоторые вещества не могут быть подвергнуты дальнейшему расщеплению на составляющие элементы.



Демокрит

Согласно учению Демокрита, всем атомам присуще свойство непрерывного движения, первопричиной которого являются соударения атомов, начавшиеся во время спонтанного вихря. Благодаря этому вихрю возник наш космос: сначала произошла первичная сортировка атомов, более крупные атомы оказались в центре, и из них произошла Земля. Более того, душа человека также состоит из мельчайших атомов, поэтому она придает телу тепло и движение.

Справедливости ради следует отметить, что у Демокрита атом был неделим, так как деление предполагает наличие пустоты, а согласно учению атомистов внутри атома по определению пустоты нет. Но лишь в конце XIX — начале XX века физиками будут открыты субатомные частицы и составная структура атома и будет доказано, что атом действительности «неделимым» не является.



Чаша Ликурга

Следует отметить, что человечество издревле пользовалось нанотехнологиями, правда, на интуитивном уровне.

Наноматериал имоголит использовался в Древнем Китае в I веке нашей эры при производстве фарфора и в Древнем Риме в IV веке нашей эры при производстве стекла [100]. Пример тому — так называемая чаша Ликурга, хранящаяся в Британском музее. Стекло, из которого сделана чаша, содержит в себе наночастицы золота и серебра. Средневековые витражи до сих пор хранят яркость и разнообразие красок благодаря наночастицам металла в составе стекла.

Начиная с III века нашей эры в Дамаске изготавливались клинки путемковки из заготовок индийской стали «вуц». Эти знаменитые дамаскские клинки имели на поверхности характерный естественный узор и обладали высочайшим качеством. Секрет дамаскской стали также связан с наличием наночастиц (углеродных наноструктур).

Первые научные исследования, которые можно отнести к области нанотехнологий, начались гораздо позднее и приходятся на XVII век. В 1661 году ирландский химик Роберт Бойль опубликовал статью, в которой, описывая способ соединения частиц, впервые употребил слово «кластер». Этим термином определялась группа близко расположенных, тесно связанных друг с другом атомов, молекул, ионов, ультрадисперсных частиц



Р. Бойль

Существенный прогресс в нанотехнологиях был достигнут более двух веков спустя, в 1883 году,



Фотопленка
«Кодак»

американским изобретателем Джорджем Истменом (основатель компании «Kodak»), изготовившим фотопленку. Процесс фотографии основан на нанотехнологиях, поскольку его суть — это образование наночастиц серебра под действием солнечного света.

Дальнейшее развитие научных исследований в сфере нанотехнологий относится уже к XX веку.

В 1931 году немецкие физики Макс Кнолл и Эрнст Руска создали электронный микроскоп, который впервые позволил исследовать нанообъекты. В эти же годы в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ) под руководством академика А.Ф. Иоффе проводятся исследования в области полупроводников, заложившие основы современной электроники. Сотрудник ЛФТИ Г.А. Гамов теоретически обосновал так называемый эффект туннелирования, который сегодня широко используется в нанотехнологиях. Г.А. Гамов впервые получил решения уравнения Шрёдингера, описывающие возможность преодоления частицей энергетического барьера даже в случае, когда энергия частицы меньше высоты барьера. Новое явление, называемое туннелированием, позволило объяснить многие экспериментально наблюдавшиеся процессы, понять большой круг явлений. Найденные решения были применены, например, для описания процессов, происходящих при вылете частицы из ядра, — основы атомной науки и техники.



Дж. Истмен



А.Ф. Иоффе



Г.А. Гамов

В 1950-х годах в этом же Институте при непосредственном участии Ж.И. Алфёрова были разработаны первые отечественные транзисторы и силовые германиевые приборы. В это время нанотехнологии начала применять и отечественная атомная промышленность, используя их при создании диффузионных технологий изотопного обогащения урана и технологических операций ядерно-топливного цикла. Основы для развития нанотехнологий были заложены также в ходе исследований академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина в области физикохимии.



Ж.И. Алфёров

Многие источники, в первую очередь англоязычные, отсчитывают историю нанотехнологий от момента выступления с научно-популярной лекцией физика Ричарда Фейнмана в 1959 году на ежегодной встрече Американского физического общества в Калифорнийском технологическом институте. Выступление называлось «Там внизу много места: приглашение шагнуть в новую область физики» («There's plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics»)[115]. Фейнман предположил, что возможно механически перемещать одиночные атомы при помощи манипулятора соответствующего размера, поскольку такой процесс не противоречил бы известным на сегодняшний день законам физики. Позднее, в 1965 г., Р. Фейнман был удостоен Нобелевской премии «за фундаментальные работы по квантовой электродинамике,



В.А. Каргин



П.А. Ребиндер



Б.В. Дерягин



Р. Фейнман

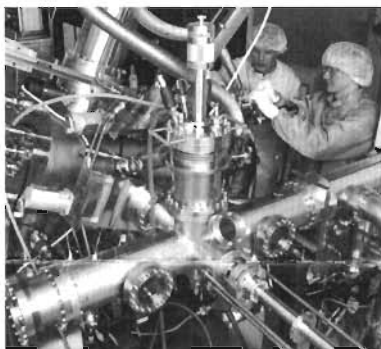
имевшие глубокие последствия для физики элементарных частиц».

Позже, уже в 1993 году, в США учредят Фейнмановскую премию, которой отмечаются исследователи, чья работа больше всего способствовала достижению обозначенной Фейнманом для нанотехнологий цели — строительству продуктов с атомарной точностью с помощью производственных наносистем. Премия присуждается в двух категориях:

эксперимент и теория нанотехнологии.

В 1969–1970 г.г. сотрудник научного подразделения американской компании «Bell» Альфред Чо разработал теоретические основы технологии молекулярной эпитаксии.

Что касается самого термина «нанотехнологии», то первым его употребил японский физик Норико Танигучи [75]. Он использовал его в докладе «Об основных принципах нанотехнологии» (On the Basic Concept of Nanotechnology), сделанном в 1974 году на международной конференции в Токио. Термин «nanotechnology» был использован профессором Танигучи как обозначение **совокупности знаний, подходов, приемов и конкретных процедур, а также нанопроизводства** (более точным переводом будет «нанотехника»).



Прибор молекулярной эпитаксии для создания полупроводниковых гетероструктур

В нашей стране в 1960–70-е годы также идут исследования в области нанотехнологий. В 1963 году Ж.И. Алферов предлагает принцип гетеролазера, а в 1968 появляются гетеролазеры, работающие при комнатной температуре, одни из наиболее значимых электронных приборов, диапазон применения которых чрезвычайно широк — от оптической связи до лазерной техники (сканеры, принтеры, компакт-диски, DVD).

В 70-х годах Ж.И. Алферовым разрабатывается технология соз-

дания высокоэффективных, радиационноустойчивых солнечных элементов. В результате в России впервые в мире организуется крупномасштабное производство гетероструктурных солнечных элементов для космических батарей. Одна из них, установленная в 1986 году на космической станции «Мир», проработала на орбите весь срок эксплуатации без существенного снижения мощности.

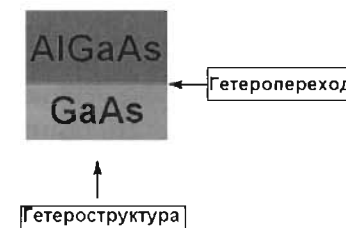


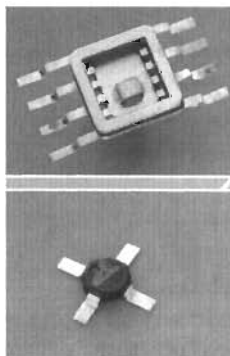
Н. Танигучи

Труды Ж.И. Алферова стали основой для создания в СССР полупроводниковой микроэлектроники, ставшей предтечей наноэлектроники, т. е. задолго до появления самого термина «нанотехнологии». Он открыл и развил быстрые опто- и микроэлектронные компоненты, которые создаются на базе многослойных полупроводниковых гетероструктур. Открытие Ж.И. Алферовым идеальных гетеропереходов и новых физических явлений — «суперинжекции», электронного и оптического ограничения в гетероструктурах — позволило кардинально улучшить параметры большинства известных полупроводниковых приборов и создать принципиально новые, особенно перспективные для применения в оптической и квантовой электронике.

Гетероструктуры, представляющие собой слои полупроводниковых материалов, позволяют добиваться желаемых оптических и электрических свойств материала посредством выбора материалов слоев, их толщины и добавок. Толщина слоя может составлять всего один атомный слой или же достигать величины нескольких микрон. Иными словами, манипулирование может происходить на атомном уровне, т. е. в области нанотехнологий.

Применение гетероструктур позволяет на порядки увеличить быстродействие транзисторов, а значит, и общее быстродействие интегральных схем, т. е. существенно улучшает работу современной электронной техники — компьютеров, сотовых





Высокоскоростные транзисторы и сверхвысоко-частотные интегральные схемы, применяемые в сотовых телефонах и спутниковых системах для беспроводной связи

телефонов, радиоприемников, видеоигр и т. д. На основе гетероструктур созданы мощные высокоэффективные светоизлучающие диоды, используемые в дисплеях, лампах тормозного освещения в автомобилях и светофорах. В гетероструктурных солнечных батареях, которые широко используются в космической и наземной энергетике, достигнуты рекордные эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую.

Своими открытиями Ж.И. Алфёров создал основу современной информационной техники, которая должна быть быстродействующей, чтобы за короткий срок передавать большие объемы информации, и в то же время быть компактной. Открытия академика Ж.И. Алфёрова в области полупроводниковых гетероструктур и высокоскоростной электроники в 2000 году удостоены Нобелевской премии.

Начиная с 1976 года сотрудниками Ленинградского технологического института (ЛТИ) проводились опыты по получению точных атомарных копий изделий из так называемого рудного пара. Отпадала необходимость в металлургических и металлообрабатывающих технологиях, появились большие возможности для получения материалов заданного состава. В это же время группой ученых ЛТИ и Ленинградского государственного университета (С.И. Кольцовым, А.А. Малыгиным, И.В. Муриным, В.П. Толстым) были начаты исследования в области химической технологии материалов и изделий электронной техники, включая исследования синтеза наноструктур и твердотельных нанослоев методом ионного наплавления.

В 1981 году немецкие физики Герд Бинниг и Генрих Рорер создали туннельный сканирующий микроскоп, способный регистрировать отдельные атомы.

В 1986 году нанотехнология стала известна широкой публике благодаря американскому футурологу Эрику Дрекслеру, который



Г. Рорер



Г. Бинниг



Э. Дрекслер

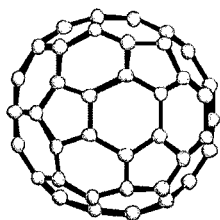
опубликовал книгу «Машины созидания: грядет эра нанотехнологий» («Engines of creation: the coming era of nanotechnology»), автор которой предсказывал, что нанотехнология в скором времени начнет активно развиваться. Он же первым употребил этот термин для обозначения новой области науки в своей докторской диссертации в Массачусетском технологическом институте. Центральное место в его исследованиях новой области знаний были математические расчеты, с помощью которых можно было проанализировать работу устройства размером в несколько нанометров.

Нельзя не отметить еще один факт. В 1980-х годах в лабораториях компании IBM в Цюрихе были изобретены супермощные микроскопы (сканирующие туннельные микроскопы), которые позволяли не только наблюдать атомы, но и специальными «нанопинцетами» изменять их построение в молекулах. И первым нанозадачей можно считать название компании, которое сотрудники Армаденской лаборатории IBM под руководством Д. Эйглера выложили в 1989 году на монокристалле никеля из 35 атомов ксенона [59].

В эти же годы американские ученые Р. Смэйли и В. Курл и английский ученый



Сканирующий туннельный микроскоп



Фуллерен

Т. Крото сообщили об открытии фуллерена. Значимость этого открытия подчеркнута присуждением им в 1996 году Нобелевской премии по физике. **Фуллерен — полая частица, похожая на оболочку футбольного мяча, состоящая из 20 шестиугольных циклов и 12 пятиугольных, с общим количеством атомов углерода 60.** Это знаковая фигура для нанотехнологий. В текстах фуллерен обозначается символом C₆₀.

В 1991 году японский профессор Сумио Идзима, сотрудник компании NEC, первым в мире использовал фуллерены для создания — углеродных трубок (нанотрубок) диаметром 0,8 нм.

В 2000 году администрация США поддержала создание Национальной инициативы в области нанотехнологии. Нанотехнологические исследования получили государственное финансирование. Тогда из федерального бюджета было выделено \$ 500 млн.

Госстандарт России 5 марта 2001 года создал новый технический комитет по стандартизации ТК 441 «Научно-технологии», деятельность которого направлена на разработку национальных стандартов в области нанотехнологий.

Существенный импульс развитию нанотехнологий дало развитие интегральной полупроводниковой микроэлектроники [70]. Естественное стремление к повышению уровня интеграции за счет уменьшения размеров активных элементов, размещаемых на кристалле, стимулировало развитие технологических процессов, оперирующих со структурными объектами, размеры которых постепенно уменьшались от 10 мкм до 100 нм.

Первыми же нанобъектами, которые с середины прошлого века начали активно использоваться в технологических процессах, стали тонкие пленки (слои) толщиной менее 100 нм. Применение нанослоев из различных материалов в ряде технических устройств позволило значительно улучшить их потребительские характеристики. Например, формируемые в высоком вакууме нанослои из щелочных металлов позволили создать фотокатоды, которые до сих пор широко применяются в различных фотоприемных

устройствах (фотоэлектронные умножители, электронно-оптические преобразователи и т. д.).

Обобщая вышеприведенные данные, можно констатировать, что история нанотехнологий насчитывает уже несколько тысячелетий (табл. 2).

Таблица 2

Краткая история нанотехнологий

Год	Событие
400 г. до н.э.	Древнегреческий философ Демокрит впервые описал слово «атом»
I век н.э.	Использование наноматериала при производстве фарфора в древнем Китае
III век н.э.	Дамасские клинки делались из индийской стали, при производстве которой применялись углеродные наноструктуры, подобные современным.
IV век н.э.	Использование наночастиц золота и серебра при производстве стекла в Древнем Риме.
Средневековье (сер. V – сер. XVII вв.)	Использование наночастиц металла при изготовлении витражей в Западной Европе.
1661 г.	Химик Роберт Бойль впервые употребил слово «кластер».
1883 г.	Джордж Истмен (США) впервые изготовил фотопленку
1931 г.	Немецкие физики М. Кнолл и Э. Руска создали электронный микроскоп, позволяющий исследовать нанобъекты
1930–е гг.	Исследования ученых Ленинградского физико-технического института под руководством А.Ф.Иоффе в области полупроводников
1947 г.	Нобелевские лауреаты Д. Бардин и У. Браттейн построили первые работающие транзисторы
1954–55 гг.	Нобелевские лауреаты Ч. Таунс, Н.Г. Басов, А.Н. Прохоров открыли принцип генерации и усиления электромагнитных волн и на его основе совместно создали первый квантовый генератор — мазер

Год	Событие
1950–60-е гг.	Применение нанотехнологий советской атомной промышленности. Исследования академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина в области физикохимии. Разработка первого отечественного транзистора
1958 г.	Д. Килби создал первую интегральную схему из кремния (чип)
1959 г.	Лекция Ричарда Фейнмана на тему «Там внизу много места: приглашение шагнуть в новую область физики»
1963 г.	Ж.И. Алфёровым предложен принцип гетеролазера
1966 г.	Р. Янг предложил идею пьезодвигателей, которые в настоящее время обеспечивают позиционирование и перемещение подложки под острием туннельного зонда сканирующего туннельного микроскопа и нанотехнологического оборудования с точностью до 0,1–0,01 Å
1967 г.	Открытие Ж.И. Алфёровым первых идеальных гетероструктур AlGaAs
1969–1970 гг.	Сотрудник американской компании «Bell» А. Чо разработал теоретические основы молекулярной эпитаксии
1974 г.	Профессор Норико Танигучи впервые употребил слово «нанотехнология»
Вторая половина 1970–х гг.	Разработка Ж.И. Алфёровым технологии создания высокоэффективных, радиационноустойчивых солнечных элементов
1981 г.	Создание немецкими физиками Г. Биннигом и Г. Рорером сканирующего туннельного микроскопа, способного регистрировать отдельные атомы
1983 г.	Получение группой отечественных ученых полукристаллов никеля путем прессования ультрадисперсных порошков (это одна из первых работ по консолидированному нанокристаллическому никелю)
1986 г.	Выход книги Эрика Дрекслера «Машины созидания: грядет эра нанотехнологий». Изобретение Г. Биннигом и К. Гербером (США) сканирующего атомно-силового микроскопа (применяется для снятия профиля поверхности и для изменения её рельефа, а также для манипулирования микроскопическими объектами на поверхности)

Год	Событие
1989 г.	Создание первого наноизделия — название фирмы IBM, выложенное атомами ксенона на монокристалле никеля под руководством Д. Эйглера. В г. Зеленограде — центре российской микроэлектроники создана компания НТ-МДТ («Molecular and Tools for Nano Technology») по выпуску приборов для работы в нанодиапазоне
1991 г.	Открытие фуллерена (Р. Смэйли, В. Курл, Х. Котто). Впервые обнаружены углеродные нанотрубки (С. Идзима, Япония). За несколько месяцев до открытия они были предсказаны российским физиком Л. Чернозатонским и американцем Дж. Минитмиром
1993 г.	Учреждение Фейнмановской премии
1995 г.	Сотрудники Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я. Карпова разработали нанокompозитный датчик, выявляющий различные вещества в атмосфере
1998 г.	Создание голландским физиком С. Деккером транзистора на основе нанотехнологий
1999 г.	Исследователями Корнеллского университета (США) построена интегрированная биоНЭМС (НЭМС — наноэлектромеханическая система)
2000 г.	Р. Магерле (Германия) предложил технологию нанотомографии — создание трехмерной картины внутреннего строения вещества с разрешением 100 нм. В США принята Программа «Национальная нанотехнологическая инициатива». На заседании Совета Министров ЕС в Лиссабоне принято обращение к Еврокомиссии об образовании европейского научного пространства
2001 г.	Создание в РФ технического комитета по стандартизации ТК 441 «Наукоемкие технологии». Начало разработки российских стандартов в области нанотехнологий, в том числе на методики поверки и калибровки микроскопов, используемых для этих целей

Год	Событие
2002 г.	С. Декер объединил нанотрубку с ДНК, получив единый механизм. В ЕС поставлена задача к концу первого десятилетия XXI века направлять на финансирование научных разработок не менее 3 % ВВП Европы. В России в ходе реализации подпрограммы «Электроника» объявлен дополнительный конкурс проектов по разделу «Микро- и наносистемная техника»
2003 г.	В ряде российских вузов открыты специальности «Нанотехнологии в электронике» и «Наноматериалы». В Российской академии наук создана секция нанотехнологий. Японское правительство совместно с группой частных промышленных корпораций учредило Совет по развитию нанотехнологий в промышленных целях
2004 г.	Утверждена Концепция развития в РФ работ в области нанотехнологий на период до 2010 года. В списке приоритетов Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы» появилось направление «Индустрия наносистем и материалы». Начат выпуск российского журнала «Нанотехника»
2005 г.	В рамках Международной организации по стандартизации (ISO) создан технический комитет ТК 229 «Нанотехнологии». В Тайване принята 6-летняя национальная программа развития нанотехнологий. Начат выпуск российского журнала «Нанотехнологии и наноматериалы»
2006 г.	Начат выпуск российского журнала «Наноиндустрия»
2007 г.	Созданы государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий», Правительственный совет по нанотехнологиям. Президентом РФ утверждена инициатива «Стратегия развития наноиндустрии». Создана Комиссия РАН по нанотехнологиям. Утверждена Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы». В Отделении нанотехнологий и информационных технологий РАН создана секция нанотехнологий РАН

Год	Событие
2008 г.	Проведение выборов действительных членов (академиков) и членов-корреспондентов по секции нанотехнологии РАН. Подготовлен проект Концепции обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в РФ до 2015 года. Объявлены первые открытые конкурсы на право заключения государственных контрактов в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008–2010 годы». Начата работа по созданию региональных Центров метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии. К 2008 году выпущено более 800 сканирующих зондовых микроскопов для предприятий России и других стран, занимающихся исследованиями и измерениями в области нанотехнологий

По прогнозам экспертов к 2014 году примерно 17 % товаров будут произведены с помощью нанотехнологий [84]. К этому же времени объем подобной продукции на мировых рынках достигнет по оптимистичному прогнозу почти 3 трлн. долл. (по пессимистичному — 500 млрд. долл.) (рис. 5) [28].

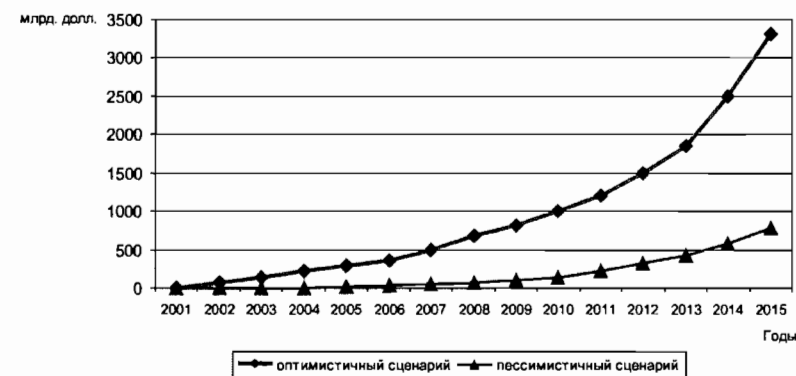


Рис. 5. Прогнозы объемов мирового рынка нанотехнологий (данные ЕС)

По оценке аналитического агентства «Lux Research» (США), являющегося ведущей организацией в области анализа международных нанотехнологических рынков, к 2014–2015 гг. число работающих в этой области достигнет 2 млн. человек. Компания считает, что нанотехнологии будут использоваться в основном в трех секторах — в сфере материалов и производства, в электронике и информационных технологиях, в здравоохранении и медицинских науках.

Эксперты прогнозируют, что начиная с 2010 года нанотехнологии станут обыденным процессом и их включение в изготовление продукции будет восприниматься как нечто само собой разумеющееся. Предполагается также, что с 2020 года будут распространены четыре различные параллельные разновидности продуктов и процессов: пассивные наноструктуры, активные наноструктуры, наносистемы с трехмерными свойствами и неоднородные молекулярные наносистемы [70].

Уже сегодня индустрия развитых стран применяет нанотехнологии в процессе производства как минимум 80 групп потребительских товаров и свыше 600 видов сырьевых материалов, комплектующих изделий и промышленного оборудования. Например, компания «Боинг» до 40 % своей авиационной продукции производит, применяя композитные материалы, полученные с помощью нанотехнологий.

В 2005 году в таких всемирно известных изданиях как «Journal of the American Chemical Society», «Applied Physics Letters», «Cancer Gene Therapy», «Nature», «Science» было опубликовано более 27 000 статей, так или иначе относящихся к нанотехнологиям [49]. По данным Совета в области науки, производства и инноваций при премьер-министре Австралии с 1994 по 2004 год суммарные инвестиции в нанотехнологию возросли десятикратно, так же как и количество патентов в этой области. Ежегодные правительственные расходы во многих развитых странах на нанотехнологию с 2000 по 2005 год возросли более чем вчетверо, с 1 до 4,5 млрд. долл. Активно инвестирует в наноиндустрию и частный капитал. Только за один 2005 год компании и фирмы вложили в эту отрасль не менее 3,8 млрд. долл. (американские компании — 1,7 млрд., азиатские —

1,4 млрд., европейские — 650 млн. долл.) Суммарные же расходы в мире на развитие нанотехнологий достигли 8,6 млрд. долл.

Об интересе ведущих компаний к нанотехнологиям говорит число патентов, полученных ими за период 1976–2002 гг. (табл. 3) [33].

Как видно, в таблице фигурируют в основном американские компании. В 1996–98 гг. Правительство США поставило перед собой цель занять лидирующие позиции по многим направлениям нанотехнологических исследований [43]. Для этого в январе 2000 года была принята программа, названная *Национальная Нанотехнологическая Инициатива (НИИ)*. Она представляет собой стратегию и детальный план развития новых технологий на ближайшие 20 лет, причем в нее включено большое число долгосрочных и среднесрочных фундаментальных исследований.

При президенте США был создан специальный комитет, координирующий работы по нанотехнологиям в 12 отраслях про-

Таблица 3

Количество патентов в области нанотехнологий, полученных ведущими мировыми компаниями

Компания	Число патентов
«International Business Machines Company» (IBM), США	2092
«Xerox Corporation», США	1039
«Micron Technology, Inc.», США	781
«Eastman Kodak Company», США	738
«Motorola, Inc.», США	705
«Texas Instruments, Inc.», США	694
«General Electric Company», США	491
«Hitachi Ltd.», Япония	462
«Hewlett-Packard Company», США	434
«Kabushiki Kaisha Toshiba», Япония	412
«E.I. Du Pont de Nemours and Company», США	362
«Intel Corporation», США	341

мышленности и вооруженных силах. Расходы на НИИ за 5 лет увеличились в 3,6 раза (рис. 6).

Дополнительную поддержку НИИ придал «Акт об исследованиях и развитии нанотехнологий в XXI веке» [153], утвержденный Администрацией США в 2003 г. [94]. Он предполагает фронтальное решение проблем нанотехнологий как в фундаментальном, так и в прикладном направлениях с выделением свыше тысячи направлений поиска, объединенных вокруг наноэлектроники, нанобиотехнологии, наноэлектромеханики, наноэнергетики, оптоэлектроники, создания новых поколений функциональных и конструкционных наноматериалов, наноматериалов для медицины, машиностроения и робототехники, компьютерных технологий, экологии, авиации, систем безопасности и борьбы с терроризмом. К настоящему времени 670 фирм США подключились к проведению исследований, связанных с нанотехнологиями, а всего в мире об этом объявили около 1,5 тыс. компаний.

Согласно НИИ до 2020 года должны последовательно появиться четыре поколения продуктов с использованием нанотехнологий. **Первое поколение** (2000–2005) [73] называется «пассивные наноструктуры», а попросту — нанопорошки, которые можно

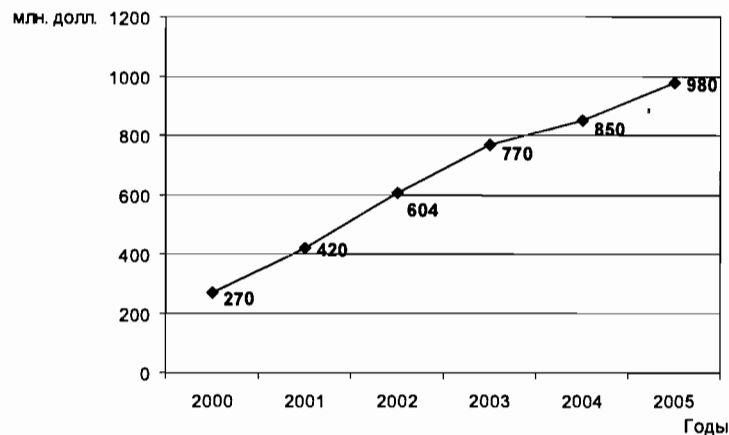


Рис. 6. Годовое финансирование работ по программе Национальной Нанотехнологической Инициативе США

добавлять в разные материалы: полимеры, керамику, металлы, покрытия, лекарства, косметику, пищу и прочие товары народного потребления. Сегодня в США производится несколько сот видов товаров, где можно обнаружить присутствие таких нанопорошков, и можно считать, что первое поколение уже освоено промышленностью.

Второе поколение (2005–2010) — «активные наноструктуры» — предусматривает создание компонентов нанобиотехнологий, нейроэлектронных интерфейсов, наноэлектромеханических систем и т. п. Это поколение пока находится в лабораториях, на уровне создания прототипов.

Третье поколение (2010–2015) — «системы наносистем», то есть управляемая самосборка наносистем, трехмерные сети, нанороботы и т. п. — пока лишь на стадии исследований.

И, наконец, **четвертое поколение** (2015–2020) — «молекулярные наносистемы», то есть молекулярные устройства, атомный дизайн — существует только в виде концепции (рис. 7).

В США уже производятся различные изделия с применением нанотехнологий. Это и непахнущие синтетические носки с наночастицами серебра (серебро выступает в роли антисептика),

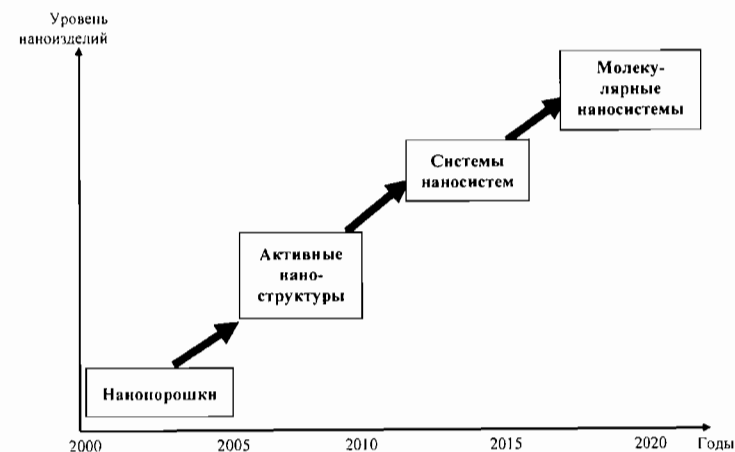


Рис. 7. Развитие нанопроизведений (по программе Национальной нанотехнологической инициативы США)

и суперпрочные теннисные мячи и ракетки, и непромокаемые штаны и плащи, и различные кремы и т. д. При этом Агентство по контролю фармацевтических препаратов и продуктов питания США (Food and Drug Administration) пока еще разрешает производителям не указывать в информации о товарах, что они произведены с применением нанотехнологий. Хотя их безопасность для потребителей до конца не выяснена.

В других развитых странах исследования в области нанотехнологий также получили государственный приоритет и финансирование.

В Европе нанотехнологические исследования и разработки проводятся более чем в 50 лабораториях, финансируемых как по национальным, так и по международным программам. На заседании Совета министров ЕС в Лиссабоне в 2000 г. было принято обращение к Еврокомиссии об образовании европейского научного пространства с целью создать в Европе к 2010 году наиболее конкурентоспособную и эффективную экономику [85]. В 2002 году в ЕС была поставлена задача к концу десятилетия направлять на финансирование научных разработок не менее 3 % валового внутреннего продукта Европы.

В Германии в 2002 году государственное финансирование нанотехнологических исследований составило более 70 млн. евро. Германия опережает другие страны в плане накопленных знаний в области развития, производства и применения нанопродукции. Более того, Федеральное министерство образования и научных исследований намеревается укрепить эти позиции путем претворения в жизнь программы «Наноинициатива — план действий до 2010 года».

В Великобритании государственное финансирование разработок в области нанотехнологий в 2002 году составило около 50 млн. евро.

Страны Европейского Союза пошли по пути развития научно-технического потенциала путем интеграции усилий всех стран-участников ЕС. Механизмом интеграции стала 6-я Рамочная программа, в бюджете которой на нанотехнологии и близкие к ним по тематике биотехнологии на период 2003—2006 годов было вы-

делено 3,55 млрд. евро. Для удержания передовых позиций в нанотехнологиях, Европейская комиссия одобрила документ «Нанонауки и нанотехнологии: план действий в Европе на период 2005—2009» [104], в котором определены цели и стратегии исследований, разработок и «новотворчества», обозначены человеческие ресурсы, инфраструктура, производственные инновации, международное сотрудничество и пакет социальных вопросов.

В октябре 2005 г. в Италии начал работать нанотехнологический завод «Nanofab», вошедший как опытное производство в Венецианский научно-технологический парк (VEGA) [104]. «Nanofab» был построен совместными усилиями VEGA и ассоциацией университетов Падуи, Венеции и Вероны. Деньги на строительство в размере 20 млн. евро были выделены правительствами Евросоюза, Италии и Венецианского региона. Основная задача — передача нанотехнологий в промышленное производство.

Не отстают от Европы и Япония, Южная Корея, Тайвань. Например, если правительство США в 2005 году инвестировало в развитие нанотехнологий 5,42 долл. на душу населения, то Тайвань — 9,4 долл., Япония — 6,30 долл., а Южная Корея — 5,62 долл. [91].

В Японии в 2005 году на развитие нанотехнологий был выделен 1 млрд. долл. Здесь существует до 100 венчурных компаний нанотехнологий. На базе министерств образования, культуры, спорта, науки и технологии создана нанотехнологическая исследовательская сеть. В сентябре 2003 года японское правительство совместно с группой частных промышленных корпораций учредило Совет по развитию нанотехнологий в промышленных целях.

В рамках перспективной программы развития и поддержки нанотехнологий правительство Южной Кореи планирует затратить до конца 2010 года 2,6 млрд. долл. [99]. Программа включает 123 проекта, разбитых на три группы — ключевые, инфраструктурные и базовые. 43 ключевых проекта будут курироваться одним из профильных институтов и поддерживаться грантами из бюджетных средств размером до 1,7 млн. долл., каждый на период не более 9 лет. 38 инфраструктурных проекта, таких как биочипы, будут поддерживаться грантами размером до 830 тыс. долл. на

срок не более 5 лет. 42 базовых проекта будут получать гранты до 250 тыс. долл. на срок 3–6 лет.

В Южной Корее уровень развития нанотехнологий по оценкам Министерства науки этой страны составляет 25 % от уровня ведущих индустриальных стран [101].

Тайвань вложил в развитие своего собственного Центра нанотехнологий с 2001 по 2006 год около 290 млн. долл. А в 2005 году здесь была начата шестилетняя национальная программа, при этом на НИИ промышленных технологий Тайваня была возложена задача по организации работ [70], направленных на коммерциализацию научных результатов. Согласно проведенной реорганизации в НИИ были созданы шесть стержневых лабораторий, пять фокусных центров и пять центров связи, в то время как многие административные функции были сокращены. В результате реорганизации лаборатории выполняют НИОКР, направленные на выявление новых применений в выбранных областях, центры продолжают разработку только тех НИОКР, которые имеют рыночный потенциал, а центры связи координируют междисциплинарные проекты. К 2008 году в Институте работало 6000 человек, годовой объем его разработок составлял около 550 млн. долл. Институт оформляется в год до 1000 патентов.

Амбициозные планы имеет Китай. С 2006 по 2010 год доля расходов в этой стране на научные исследования и разработки должна вырасти с 1,3 % ВВП до 2 % [91]. Создан Китайский нанотехнологический центр, объединяющий фактически все университеты и лаборатории, занимающиеся исследованиями в области нанотехнологий. В 2004 году ученые Китая опубликовали в международных научных журналах больше статей по нанотехнологиям, чем ученые США. Вместе с учеными Индии они входят в десятку стран, наиболее часто публикующих статьи по нанотехнологиям. За 10 лет число публикаций китайских ученых, посвященных нанотехнологиям, увеличилось в 21 раз.

Понимание того, что нанотехнологии могут сыграть роль локомотива, содействующего общему подъему уровня образования и профессионального уровня ученых и специалистов, что вложения средств в нанотехнологии — это стратегическое вложение

капитала в будущую экономику и благосостояние общества, привело к тому, что даже развивающиеся страны, такие как Таиланд и Филиппины, выделяют на их развитие часть своих небольших бюджетов по направлению науки и технологий.

По данным докладов агентства LUX Research в области нанотехнологий лидирующую группу — группу «доминант» — составляют США, Япония, Южная Корея и Германия (рис 8). Близки к позициям лидеров страны, отнесенные Агентством к группам «мечтатели» и «нишевые игроки», Франция, Нидерланды и Израиль, которые благодаря высоким темпам развития сферы нанотехнологий приблизились к границам зоны «доминант». Россия занимает на мировом рынке нанотехнологий место в зоне «младшей лиги», рядом с Бразилией, Индией, Канадой и Австралией. Для того чтобы вырваться в зону «доминант», России необходимо удержать тот темп, с которым у нас в стране начали осваивать и развивать нанотехнологии.

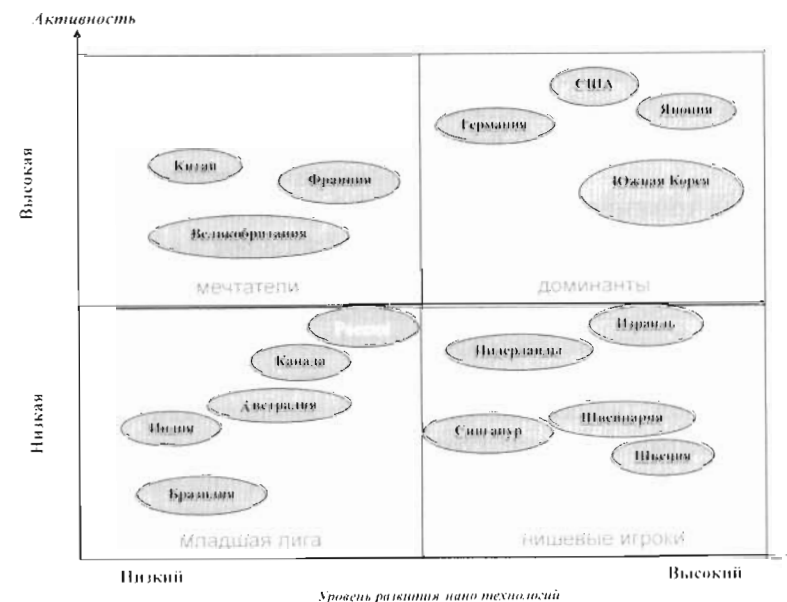


Рис. 8. Развитие нанотехнологий в мире

Наноиндустрия представляет собой новую, бурно развивающуюся и перспективную с точки зрения вложения средств отрасль. Очевидно, Россия уже активно включилась в ожесточенную борьбу за лидерство в области, обещающей дать технологии производства мириад невидимых глазом, но работоспособных и работающих устройств.

Подробнее о государственной поддержке и регулировании сферы нанотехнологий в России будет рассказано в четвертой главе книги. Но прежде необходимо подчеркнуть, что эффективность внедрения нанотехнологий, обеспечение надежности и безопасности производства и применения нанопродукции во многом определяются наличием соответствующих нормативных документов и методик проведения испытаний и измерений. В этой связи следующие главы книги автором посвящены рассмотрению и обоснованию необходимости комплексного использования стандартов и средств измерений в наноиндустрии.

Глава 2

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

Со стандартами связана вся наша жизнь. Стандарты в той или иной форме помогают нам построить каждый наш день, прожить его более комфортно с чувством надежности. Современная стандартизация выполняет следующие функции:

— экономическую. Стандарты обеспечивают заданный уровень качества продукции и услуг, снижение себестоимости, повышение производительности труда, содействие конкуренции, экономию ресурсов, снижение барьеров в торговле;

— социальную. Стандарты обеспечивают нормирование и выполнение на практике требований безопасности, здравоохранения и санитарии, охраны природы;

— коммуникативную. Стандарты обеспечивают единство представления и восприятия, прозрачность и доступность информации, внедрение современных технологий (рис. 9).

С учетом мировых тенденций и в целях совершенствования правовых основ установления и дифференциации обязательных и добровольных требований к продукции, к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также реформирования деятельности в сферах стандартизации, сертификации, аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, государственного контроля и надзора был принят Федеральный Закон «О техническом регулировании» (далее — ФЗ), вступивший в силу с 1 июля 2003 года.

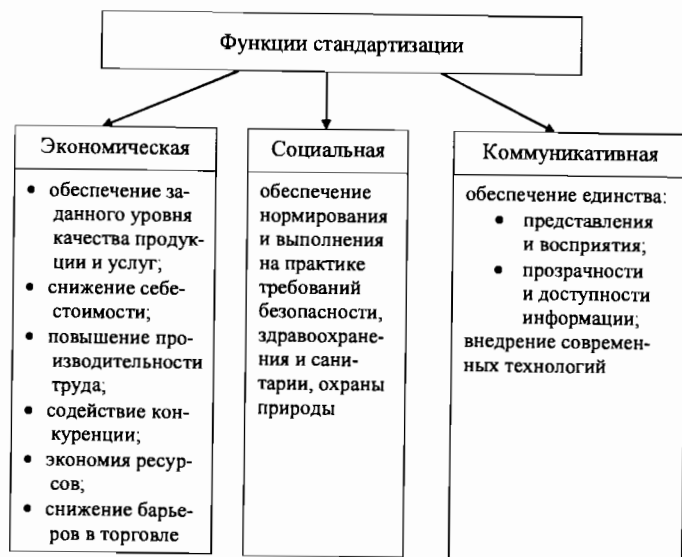


Рис. 9. Функции стандартизации

2.1. Стандартизация — элемент системы технического регулирования

В соответствии с ФЗ *стандартизация* — деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Стандарт — «документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования

к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения» [1].

Существуют различные типы стандартов. Некоторые из них поддерживают единые методики проведения измерений и определения параметров. Другие позволяют специалистам разрабатывать совместимые или взаимодействующие технологии и продукцию. Развитие деятельности в области нанотехнологий требует разработки и принятия стандартов различных типов.

В международной практике применяются следующие виды стандартов:

- **основополагающий стандарт**, имеющий широкую область распространения или содержащий общие положения для определенной области. Основополагающий стандарт может применяться непосредственно в качестве стандарта или служить основой для других стандартов;

- **стандарт терминов и определений** (терминологический стандарт), распространяющийся на термины, к которым, как правило, даются определения, а в некоторых случаях примечания, иллюстрации, примеры и т. д.;

- **стандарт методов испытаний**, устанавливающий методы испытаний, иногда дополненный другими положениями, касающимися испытаний, как например отбор проб, использование статистических методов и порядок проведения испытаний;

- **стандарт на продукцию**, устанавливающий требования, которым должна удовлетворять продукция или группа продукции, с тем чтобы обеспечить ее соответствие своему назначению.

- **стандарт на процесс**, устанавливающий требования, которым должен удовлетворять процесс, с тем чтобы обеспечить соответствие процесса его назначению;

- **стандарт на совместимость**, устанавливающий требования, касающиеся совместимости продукции или систем в местах их сочленения;

- **стандарт с открытыми значениями, неидентифицирующий стандарт**, содержащий перечень характеристик, для которых должны быть указаны значения или другие данные для конкретизации продукции, процесса или услуги. В некоторых стандартах

обычно предусматриваются данные, которые должны быть указаны поставщиками, в других — данные, указываемые покупателями [8].

Положительные моменты практики использования стандартов представлены на рис. 10.

Особое внимание автор хочет обратить на два последних фактора. Применение стандартов позволит развивать деятельность в области нанотехнологий, позволит создать единую терминологическую систему в этой области (о чем будет подробнее сказано далее).

Стандартизация в качестве одного из элементов технического регулирования обеспечивает весомый вклад в экономическое развитие страны.

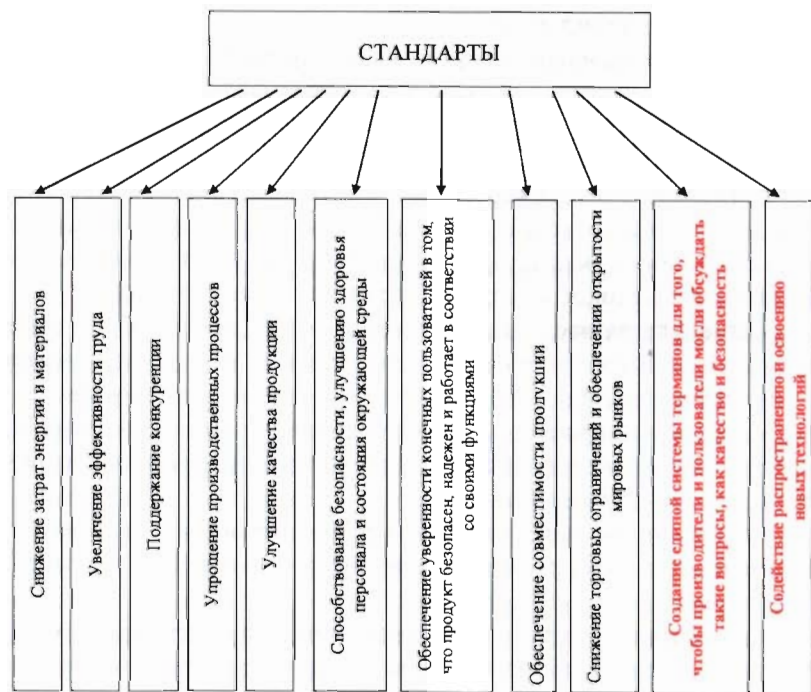


Рис. 10. Преимущества использования стандартов

Цели стандартизации (в рамках ФЗ):

- повышение уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышения уровня экологической безопасности, безопасности жизни или здоровья животных и растений;

- обеспечение конкурентоспособности и качества продукции (работ, услуг), единства измерений, рационального использования ресурсов, взаимозаменяемости технических средств (машин и оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов), технической и информационной совместимости, сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений технических и экономико-статистических данных, проведения анализа характеристик продукции, (работ, услуг), исполнения государственных заказов, добровольного подтверждения соответствия продукции (работ, услуг);

- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- создание систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции (работ, услуг), систем обеспечения качества продукции (работ, услуг), систем поиска и передачи данных, содействия проведению работ по унификации.

Стандартизация как наука и как вид деятельности базируется на определенных исходных положениях — принципах. Принципы отражают основные закономерности процесса разработки стандартов, обосновывают ее необходимость в управлении народным хозяйством, определяют условия эффективной реализации и тенденции развития. Согласно ФЗ стандартизация осуществляется в соответствии со следующими **принципами**:

- добровольное применение стандартов;
- максимальный учет при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;
- применение международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, если такое применение признано невозможным вследствие несоответствия

требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям РФ, техническим и (или) технологическим особенностям или по иным основаниям либо РФ в соответствии с установленными процедурами выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;

- недопустимость создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей стандартизации;
- недопустимость установления таких стандартов, которые противоречат техническим регламентам;
- обеспечение условий для единообразного применения стандартов.

Законом «О техническом регулировании» установлен новый подход к стандартизации, характеризующийся изменением статуса стандартов. Государственные стандарты из основного инструмента государственного технического регулирования трансформируются в российские национальные стандарты — признанные обществом, но добровольные для применения технические правила, которые способствуют соблюдению обязательных требований, устанавливаемых в технических регламентах. В соответствии с ФЗ категории стандартов, а также их статус и порядок их утверждения были изменены (рис. 11).

Как видно из рисунка, среди новых нормативных документов нет отраслевых стандартов. Но поскольку они содержат большой объем полезной научно-технической информации и производственного опыта, то их целесообразно пересмотреть в качестве национальных стандартов или стандартов организации, частично отменить, но основной массив должен перейти в новый вид документов — своды правил.

Согласно Закону *свод правил* — это документ в области стандартизации, в котором содержатся технические правила и (или) описание процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции и который применяется на добровольной основе.

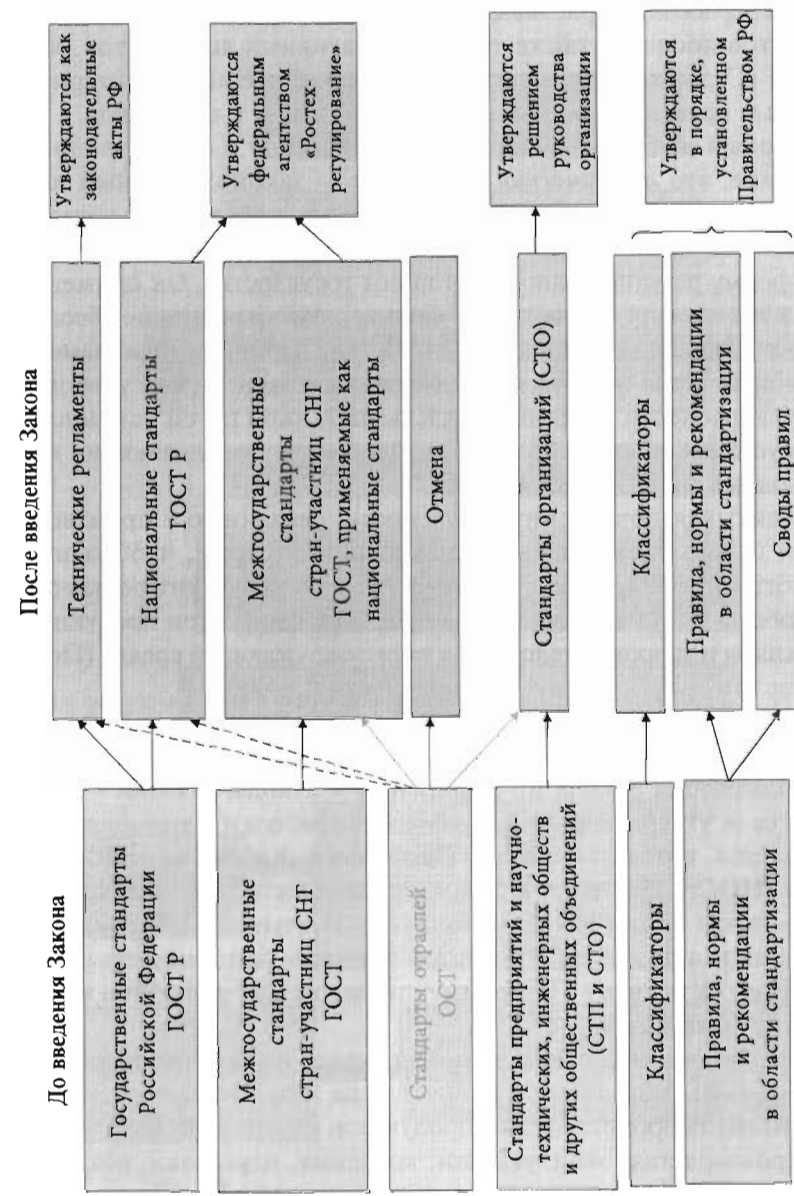


Рис. 11. Изменение категорий стандартов в соответствии с ФЗ «О техническом регулировании»

Переработка отраслевых стандартов в другие категории документов коснется также таких нормативных документов, как СНиП (Строительные нормы и правила), СанНиП (Санитарные нормы и правила), ветеринарные, пожарные и т. п. правила.

Новый документ, впервые появившийся в отечественной практике, это *технический регламент* — законодательный или правительственный акт, который содержит требования в области безопасности. Его введение представляет собой наиболее жесткую форму регулирования со стороны государства. Он применяется в тех случаях, когда другие формы регулирования не обеспечивают безопасности общества и граждан. Технический регламент разрабатывается на группу продукции и устанавливает требования безопасности либо непосредственно, либо путем установления существенных требований, качественно определяющих необходимые уровни безопасности.

Учитывая повышенную опасность, связанную с производством и применением продукции наноиндустрии, необходимо обратить особое внимание на разработку технических регламентов, обеспечивающих безопасное использование этой продукции для жизни и здоровья человека, а также окружающей среды. (Подробнее эти вопросы будут рассматриваться в гл. 4).

ФЗ (ст. 16) предусмотрены этапы разработки и утверждения национальных стандартов (рис. 12).

Инновация Закона по отношению к стандартизации — разработка и утверждение Программы разработки национальных стандартов, которые проводит **Национальный орган по стандартизации (НОСт)**. Данная программа должна быть доступна заинтересованным лицам для ознакомления. Учитывая необходимость разработки и принятия стандартов в области наноиндустрии, необходимо включить в Программу стандарты на продукцию и технологии в этой отрасли.

Национальный стандарт применяется на добровольной основе равным образом и в равной мере независимо от страны и (или) места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг, видов или



Рис. 12. Этапы разработки национальных стандартов

особенностей сделок и (или) лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

В связи с тем что национальные стандарты служат доказательной базой выполнения требований обязательных технических регламентов, национальным органом по стандартизации до дня вступления в силу технического регламента утверждается, **опубликовывается** в печатном издании федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию и размещается в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме **перечень национальных стандартов и (или) сводов правил**, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований принятого технического регламента.

В национальных стандартах и (или) сводах правил могут указываться требования технических регламентов, для соблюдения которых на добровольной основе применяются национальные стандарты и (или) своды правил.

Применение на добровольной основе **национальных стандартов и (или) сводов правил является достаточным условием соблюдения требований соответствующих технических регламентов.** В случае применения национальных стандартов и (или) сводов правил для соблюдения требований технических регламентов оценка соответствия требованиям технических регламентов может осуществляться на основании подтверждения их соответствия национальным стандартам и (или) сводам правил.

Динамика количества утверждаемых стандартов за 2000–2007 гг. отражена в табл. 4.

Согласно статистике Ростехрегулирования по состоянию на 01.01.2008 фонд национальных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р) составляет порядка 26 тысяч документов. Структура фонда представлена на рис. 13.

В целом по уровню гармонизации отечественных стандартов мы сравнялись с Евросоюзом (рис. 14). Однако уровень гармонизации стандартов по отдельным видам продукции (рис. 15) имеет разброс: от 74 % всего фонда стандартов на автомобилотехнику до 20 % — по стандартам на различные виды продуктов питания.

Таблица 4

Количество утверждаемых национальных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р) за 2000–2007 гг.

Год	Количество
2000	350
2001	490
2002	404
2003	323
2004	222
2005	406
2006	360
2007	126



Рис. 13. Распределение фонда действующих национальных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р) по секторам экономики (в % от общего количества)

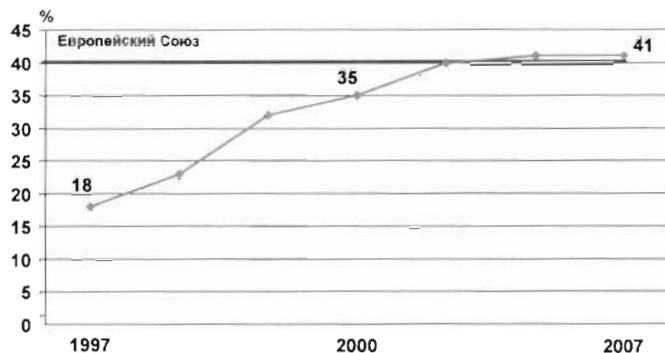


Рис. 14. Уровень гармонизации российских стандартов с международными (ИСО – МЭК)

Инструментом, который определен ФЗ «О техническом регулировании» и с помощью которого составляется и реализуется Программа разработки национальных стандартов, являются **технические комитеты (ТК)**. В соответствии со статьей 14 ФЗ ТК по стандартизации в структуру национальной системы стандартизации включаются и им делегируются одни из самых ответственных функций — разработка и экспертиза национальных стандартов.

По состоянию на 1 января 2008 г. официально зарегистрировано 360 ТК, 95 % которых существуют на базе головных отраслевых институтов (рис. 16). Это безусловно интеллектуальный потенциал нашей страны. Вместе с тем в связи с начавшимся процессом приватизации в этой сфере многие ТК прекратили свою работу, так как не приносят прибыли организациям, на базе которых они созданы: 30–40 % ТК разрабатывают всего по одному-двум стандартам в год. Состав и принципы организации работы технических комитетов часто не отвечают реалиям рыночной экономики. Структура и направления работ многих ТК не в полной мере позволяют активизировать участие в международной стандартизации и проводить работы по принятию международных стандартов параллельно с рассмотрением их окончательных редакций.

Деятельность ТК в области нанотехнологий (ТК 441 «Нанотехнологии и наноматериалы») будет рассмотрена далее.

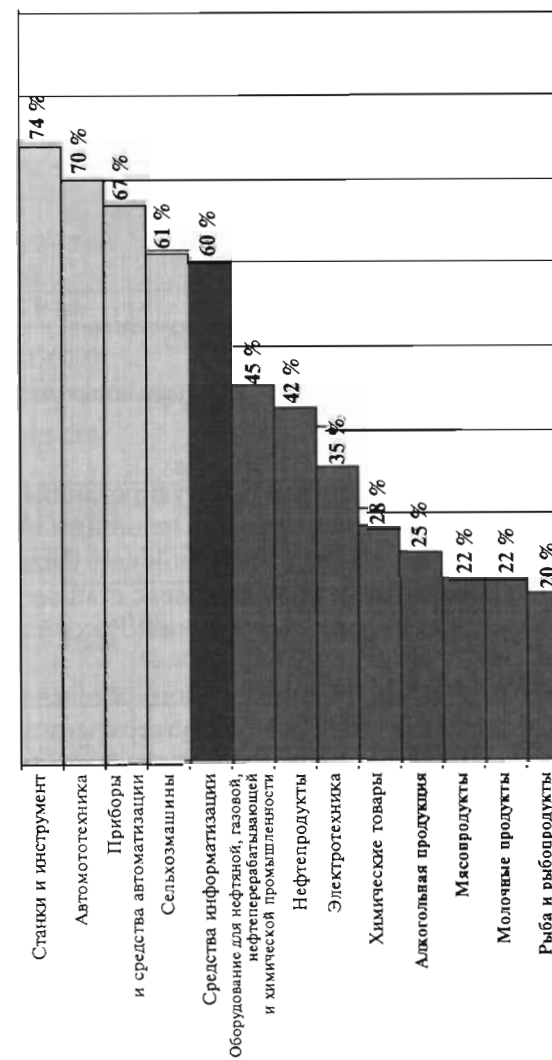


Рис. 15. Уровень гармонизации отечественных стандартов по отдельным группам продукции

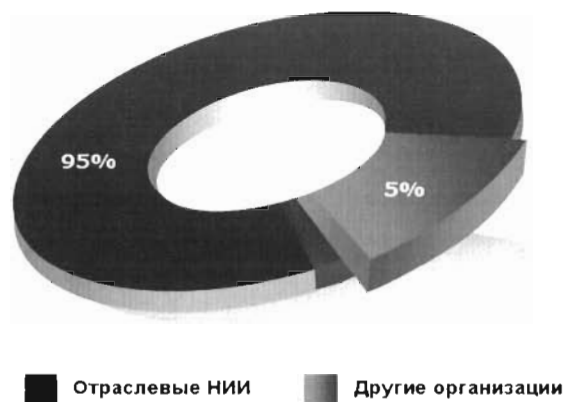


Рис. 16. Закрепление секретариатов ТК за организациями в Российской Федерации

Для реализации ФЗ «О техническом регулировании» в части стандартизации в 2005 г. начали действовать национальные стандарты комплекса «Стандартизация в Российской Федерации» (табл. 5), который заменяет известный комплекс стандартов ГСС РФ — «Государственная система стандартизации Российской Федерации».

Процесс совершенствования нормативного обеспечения методологии стандартизации не завершается с утверждением вышеупомянутых национальных стандартов комплекса «Стандартизация в Российской Федерации» и ПР 50.1.074-2004 «Подготовка проектов национальных стандартов Российской Федерации и проектов изменений к ним к утверждению, регистрации и опубликованию. Внесение поправок в стандарты и подготовка документов для их отмены».

Формирование комплекса «Стандартизация в Российской Федерации» продолжается, также осуществляется разработка документов в его развитие [69, 72].

Порядок создания и деятельности технических комитетов по стандартизации утверждается национальным органом по стандартизации.

Комплекс стандартов «Стандартизация в Российской Федерации»

Обозначение	Название
ГОСТ Р 1.0—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения
ГОСТ Р 1.1 - 2005	Технические комитеты по стандартизации. Порядок создания и деятельности
ГОСТ Р 1.2 - 2004	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены
ГОСТ Р 1.3	—
ГОСТ Р 1.4-2004	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения
ГОСТ Р 1.5-2004	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения
ГОСТ Р 1.6 - 2005	Стандартизация в Российской Федерации. Проекты стандартов. Организация проведения экспертизы
ГОСТ Р 1.7	—
ГОСТ Р 1.8—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения
ГОСТ Р 1.9—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Знак соответствия национальным стандартам Российской Федерации. Изображение. Порядок применения
ГОСТ Р 1.10—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения изменения, пересмотра и отмены
ГОСТ Р 1.11—99	ГСС РФ. Метрологическая экспертиза проектов государственных стандартов
ГОСТ Р 1.12—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения
ГОСТ Р 1.13—2004	Стандартизация в Российской Федерации. Уведомления о проектах документов в области стандартизации. Общие требования

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 28 февраля 2006 г. № 266-р была принята Концепция развития национальной системы стандартизации, которая представляет собой систему взглядов на проблемы развития национальной системы стандартизации в Российской Федерации до 2010 года и содержит обоснованные цели, задачи и направления развития национальной системы стандартизации (рис. 17). В рамках вышеуказанной концепции стандартизация в качестве одного из элементов технического регулирования должна внести достойный вклад в экономическое развитие страны, при этом роль и принципы стандартизации в условиях реформирования российской экономики должны быть адекватны происходящим переменам и соответствовать международной практике [5, 56, 63].

В Концепции нашли отражение основные стратегические и тактические задачи и проблемы, которые приходится решать национальному органу по стандартизации.

Важное направление деятельности в сфере стандартизации, согласно Концепции, связано с усилением роли национальной стандартизации в решении государственных задач и в свою

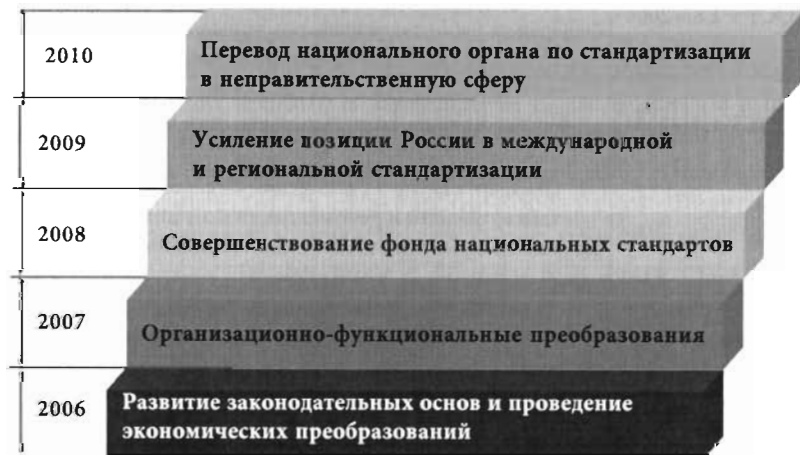


Рис. 17. Этапы реформирования национальной системы стандартизации

очередь роли государства в ее развитии. Предстоит разработать механизмы применения национальных стандартов при формировании отраслевых программ, в том числе в такой отрасли, как наноиндустрия, в сфере госзакупок, так же как и сам механизм привлечения органов власти к работам в области национальной стандартизации.

Потребность в стандартных мерах, возникшая у человека как только он начал строить жилища, делать орудия труда, изготавливать домашнюю утварь и одежду, когда требовалось прежде всего измерять длину, объем, вес, время, постепенно развивалась. И теперь, во времена современных нанотехнологий, имеющих дело с малыми размерами элементов и структур, стандартизация в этой сфере требует особого подхода, особенности которого будут подробно рассмотрены в следующем параграфе.

Важным также является экономический эффект, который дает применение стандартизации.

Стандарт предлагает апробированные на практике и несущие меньший риск технические и технологические решения. Использование этих решений позволяет производителю существенно снизить расходы на проведение исследований, испытаний, в том числе эксплуатационных, и свои риски от невозможности самостоятельного проведения НИОКР и доводочных испытаний выпускаемой продукции в полном объеме.

Выполнение положений, указанных в стандартах, позволяет сформулировать требования к качеству продукции.

Приобретя стандарт, производитель может использовать его многократно, тем самым снижая расходы на приобретение прав на интеллектуальную собственность.

С помощью стандартизации возможен допуск на рынок технологий, отдаленные последствия применения которых до сих пор окончательно не ясны, например нанотехнологий. При этом достигается соблюдение интересов всех участников рынка [52, 58, 84].

Деятельность по разработке стандартов позволяет сохранить научный и кадровый потенциал в области стандартизации.

Как свидетельствует международный опыт, стандартизация в качестве одного из основных элементов технического регулирования в условиях рыночной экономики может обеспечить вклад в экономический рост, превышающий соответствующие показатели от внедрения патентов и лицензий. Так, в результате исследований, проведенных в ряде стран Азиатско-Тихоокеанского региона, было выявлено, что эффективное применение технического нетарифного регулирования позволяет увеличить долю прибыли в среднем на 0,26 % от ВВП (валовой внутренней продукт), тогда как прибыль от мер тарифного регулирования не превышает 0,14 %. Таким образом, государство напрямую должно быть заинтересовано в эффективном применении стандартизации в качестве рычага технического регулирования.

Поскольку стандартизация, как и метрология, отличается межотраслевым характером своего применения и является универсальным средством технического регулирования, то развитие **нанотехнологий**, как и любой другой отрасли, невозможно без совершенствования деятельности в области стандартизации, позволяющей пользоваться общепринятыми терминами и определениями.

Это особенно важно, поскольку нанотехнологии широко применяются в самых различных сферах деятельности и отраслях экономики. Стандарты устанавливают также оптимальные требования к объектам nanoиндустрии и методы их испытаний, что дает возможность контролировать соответствие показателей установленным требованиям. Поэтому на сегодняшний день главной стратегической целью является создание эффективной национальной системы стандартизации.

2.2. Особенности стандартизации в области нанотехнологий

Сегодня по прогнозам ученых основные направления развития нанотехнологий можно представить следующим образом (рис. 18).

По прогнозам российских ученых к 2015 году наиболее перспективными секторами, в которых будет применяться нанопродукция, станут следующие сектора промышленности [61], указанные на рис. 19.



Рис. 18. Основы и области применения нанонауки и нанотехники



Рис. 19. Перспективные сектора (прогноз на 2015 год)

Все это делает актуальным вопрос разработки и установления требований к продукции и процессам nanoиндустрии и соответственно создания стандартов на эту продукцию и процессы.

Переход к нанотехнологиям поставил перед наукой и техникой ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур, с которыми имеет дело нанотехнология. Поэтому стандартизация в сфере нанотехнологий требует особого подхода. Характеристики наноматериалов и наноизделий, методы их испытаний, система классификации и идентификации существенно отличаются от объектов макромира, что должно быть отражено в стандартах и других нормативных документах.

Поскольку применение нанотехнологий отличается межотраслевым характером (рис. 20), то благодаря использованию инструментов стандартизации возможен единый подход во всех сферах применения нанотехнологий и ко всем объектам nanoиндустрии.

Организация и проведение деятельности по стандартизации в области нанотехнологий обеспечивает соблюдение принципов технического регулирования (рис. 21).

Как показывает недавний опыт удачных разработок стандартов в других областях, выгоднее опубликовать так называемые опережающие стандарты, предвещающие появление продуктов и процессов, параметры которых они прописывают. Такие опережающие



Рис. 20. Отрасли и сферы применения нанотехнологий



Рис. 21. Значение стандартизации в сфере технического регулирования

стандарты являются своего рода катализатором и способствуют развитию новых областей науки и техники. Если стандарт разработан до появления новых технологических комплексов, повышается доверие производителей, пользователей и широкой публики к новой технологии, создаются благоприятные условия для ее скорейшего внедрения.

Организации и другие заинтересованные стороны в ходе разработки стандартов для нанотехнологии могут столкнуться с определенными проблемами. Прежде всего специалисты должны убедиться в том, что процесс разработки стандартов ведется на основе консенсуса, что обеспечивает открытость, равновесие и надлежащую правовую процедуру. Необходимо учитывать интересы разных сторон и учитывать точки зрения не только заинтересованного большинства, но и меньшинства, и конечных пользователей.

Участие в разработке стандартов может обеспечить компании конкретные преимущества, своевременный доступ к информации и новым технологиям. Таким образом, разработчики могут оказывать влияние на содержание стандарта, участвуя в процессе работы над стандартом и предлагая варианты, обеспечивающие оптимальное техническое решение.

Наконец, группе разработчиков стандартов нанотехнологий необходимо тщательно отобрать стандарты, на которые следуют тратить время и ресурсы. Любой новый стандарт должен обладать большим рыночным потенциалом, быть экономически и технологически осуществимым, не повторять другие разрабатываемые в настоящее время стандарты и обеспечивать единственное решение. Специалисты, занимающиеся нанотехнологиями, должны тщательно изучать объект исследования для того, чтобы не тратить ограниченные ресурсы на то, что не соответствует вышеперечисленным критериям.

Необходимы стандарты для описания нанотехнологий. Новые термины появляются практически каждый день, что часто вызывает некоторую неопределенность, связанную с сущностью лежащей в основе технологии, которую данный термин описывает. Такое быстрое увеличение количества причудливых названий

происходит из-за отсутствия договоренности о присвоении наименований, что не позволяет систематически классифицировать новые открытия в нанотехнологиях. Принятие *терминологической системы* упорядочит количество изобретаемых терминов и поможет исследователям, промышленности и обществу в целом ориентироваться в этой новой, стремительно развивающейся области. Отсутствие системы терминов может стать источником определенных проблем, препятствующих коммерциализации нанотехнологий в текстильной промышленности.

Как упоминалось выше, в настоящее время используются различные термины для описания схожих наноматериалов, наноструктур и архитектур наносистем. Для решения этой проблемы должно быть достигнуто соглашение по терминологии. В то время как подобные соглашения существуют в других областях науки, междисциплинарная природа нанотехнологии вызывает необходимость создания соглашения, которое бы охватывало всевозможные комбинации и формы междисциплинарных открытий.

Таким образом, необходимо еще раз подчеркнуть, что с целью ускорения разработок в области нанотехнологий стандарты должны носить опережающий характер.

Одна из первоочередных задач стандартизации является стандартизация параметров и свойств материалов, объектов, элементов и структур нанотехнологий, подлежащих измерениям. При межотраслевом и междисциплинарном характере нанотехнологий, различной терминологии и различных исследовательских и измерительных приемах и методах — это непростая, последовательно решаемая задача, в которой заложено объединяющее начало.

Можно определить направления деятельности по стандартизации в области нанотехнологий следующим образом (рис. 22).

Во всех сферах применения нанотехнологий необходим единый подход к стандартизации геометрических размеров, структуры, состава и свойств объектов наноиндустрии. В первую очередь речь идет о требованиях к безопасности продукции отраслей наноиндустрии, которые должны быть отражены в технических регламентах.

К этой же проблеме вплотную примыкает необходимость стандартизации терминов и определений в нанотехнологиях,

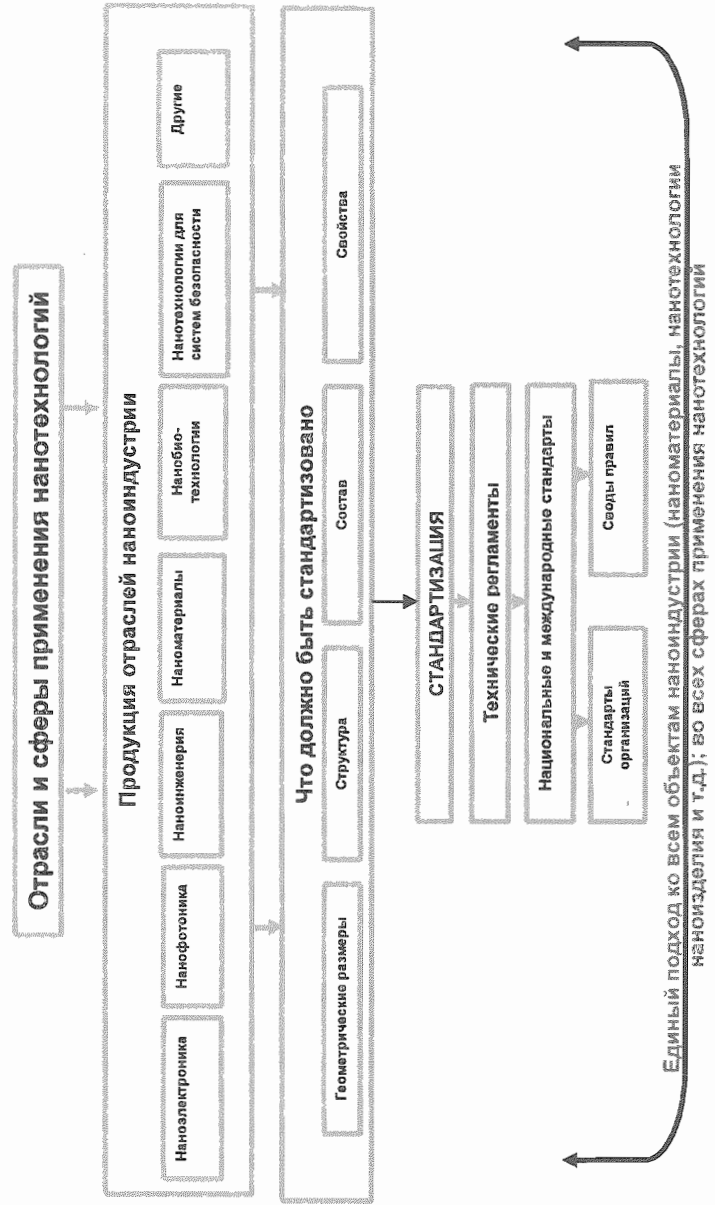


Рис. 22. Направления деятельности по стандартизации в нанотехнологиях

направленная на решение проблематики общения и взаимопонимания различных групп исследователей не только внутри одной отдельно взятой страны, но и в рамках междисциплинарного обмена информацией между странами. Отсюда закономерное следствие: необходимость в аттестованных и стандартизованных методиках выполнения измерений, методиках калибровки и поверки средств измерений, применяемых в нанотехнологиях, и во многом другом.

Особый аспект стандартизации — это решение задач обеспечения здоровья и безопасности операторов технологических процессов, равно как и лиц, взаимодействующих с продукцией нанотехнологий на всех этапах ее производства, испытаний, исследований и применений, а также экологической безопасности окружающей среды.

Крайне важной является международная стандартизация нанотехнологий и нанопродукции. Применение международных стандартов в этой области позволяет повысить конкурентоспособность нанотехнологий на глобальном уровне.

2.3. Работа российских и зарубежных организаций по стандартизации в области нанотехнологий

Развитие деятельности по международной стандартизации в области нанотехнологий и нанопродукции, с одной стороны, вовлекает в процесс интеллектуальный потенциал различных стран, а с другой — формирует систему международно-признанных требований к объектам наносферы и тем самым эффективно способствует развитию и продвижению нанотехнологий.

С помощью разработки стандартов и дальнейшего развития законодательства инновации, как правило, интегрируются в экономическую и социальную структуры на общеприемлемых условиях. Этот путь в равной степени подходит и для нанотехнологий. Представляется необходимым оценить последствия применения нанотехнологий как с юридической, так и с социальной точек зрения. Достижение консенсуса обязывает организации по разработ-

ке стандартов прогнозировать и реагировать на требования самых широких слоев общества, включая законодательное сообщество и юристов.

Международная стандартизация в области нанотехнологий дает возможность достигать следующих положительных результатов:

- 1) содействия инновационному процессу,
- 2) решения проблем при проведении наноизмерений,
- 3) значение международных стандартов в области менеджмента риска, связанного с потенциальным воздействием на здоровье и окружающую среду, для определения фактической степени данного воздействия.

Международные стандарты могут выполнять самые различные *функции* — от правил де-факто, действующих в соответствии с требованиями коммерции (например, контракт), до поддержки сути проблемы или ее обеспечения, что в широком представлении может определяться как позитивное право (например, законодательство или регламенты).

Ссылка на стандарт применяется в законодательном, регулирующем или судебном требованиях, придавая им силу закона, или стандарт может быть добровольно признан как отвечающий положениям закона.

Например, в США Национальный акт о передаче и продвижении технологии (1995 г.) ориентирует регулирующие органы на применение добровольных стандартов, разработанных на основе консенсуса, за исключением случаев, когда их применение противоречит законодательству или неосуществимо.

Международная деятельность в этой области ведется техническим комитетом Международной организации по стандартизации ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии» и включает **четыре направления**, а именно:

- 1) терминологию и номенклатуру (РГ 1);
- 2) измерение и характеристику (РГ 2);
- 3) воздействие нанотехнологий на здоровье, безопасность и 4) окружающую среду (РГ 3);
- спецификацию материалов (РГ 4),

председателями которых соответственно являются представители национальных органов по стандартизации Канады, Японии и США. Общий секретариат ведет Британский институт стандартов [31].

Направления работ по стандартизации в области нанотехнологий в различных странах представлены в табл. 6.

Первое заседание Комитета состоялось в Лондоне в ноябре 2005 г. После этого было проведено еще два пленарных заседания: в Токио (июнь 2006 г.) и в Сеуле (декабрь 2006 г.).

Здесь необходимо отметить, что ИСО еще в конце 1980-х годов провела исследования, направленные на изучение будущих потребностей в международной стандартизации в новых областях науки и техники.

При этом руководители ИСО обоснованно исходили из того, что применение международных стандартов во многих областях должно сэкономить время и ресурсы для эффективного применения новых технических решений.

В 1988 г. около 3 тысяч специалистов из 40 стран проанализировали 149 тем в 12 перспективных направлениях научно-технического развития. Характерно, что уже тогда значительная часть тематики была связана с необходимостью проникновения в область нанотехнологий и нанопродукции. В качестве примера

Таблица 6

Работы по стандартизации в области нанотехнологий в ведущих странах мира

Страна	Направление деятельности
США	40 % стандартов – на безопасность; 23 % стандартов – на метрологию
Япония	Более 30 % стандартов – на нормирование воздействия на здоровье и окружающую среду; 18 % стандартов – на метрологию
Германия	Стандартизация в области точного машиностроения
Великобритания	Стандартизация в области размерной и оптической метрологии

стоит привести результаты экспертной оценки по одной из тем: «Разработка методов, обеспечивающих обработку образцов с точностью до 10 нанометров» (рис. 23).

Были рассмотрены четыре вопроса:

- 1) степень важности проведения стандартизации в этой области,
- 2) сроки начала работ по разработке международных стандартов,
- 3) рекомендуемые виды стандартов,
- 4) цели стандартизации.

Три четверти опрошенных признали эту тему важной. Разработку международных стандартов предлагалось (в 1988 году) начать через 5–10 лет.

Но из всех рассмотренных вопросов наиболее важным несомненно является вопрос о видах стандартов.

Опрос показал, что

- 64 % — главным назвали стандарт на свойства и характеристики продукции;
- 57 % — отметили, что необходим также стандарт на методы испытаний;
- 56 % — отметили, что необходим также стандарт на методы испытаний;

33 % — высказались за терминологический стандарт.

И, наконец, на вопрос о целях стандартизации большинство опрошенных ответило: обеспечение совместимости (56 %) и международная торговля (40 %).

Тот факт, что большинство ответивших отметило необходимость разработки в равной степени стандартов и на характеристики продукции, и на методы испытаний, свидетельствует о важности обоих инструментов технического регулирования — стандартизации и метрологии. Только комплексный подход может обеспечить воспроизводимость и контроль результатов работ в области нанотехнологий.

Упомянутое исследование ИСО включало 17 тем, непосредственно связанных с применением нанотехнологий. Перечень этих тем приведен в **Приложении 1**.

Результаты экспертной оценки целей международной стандартизации по приведенным в перечне темам, где на горизонтальной

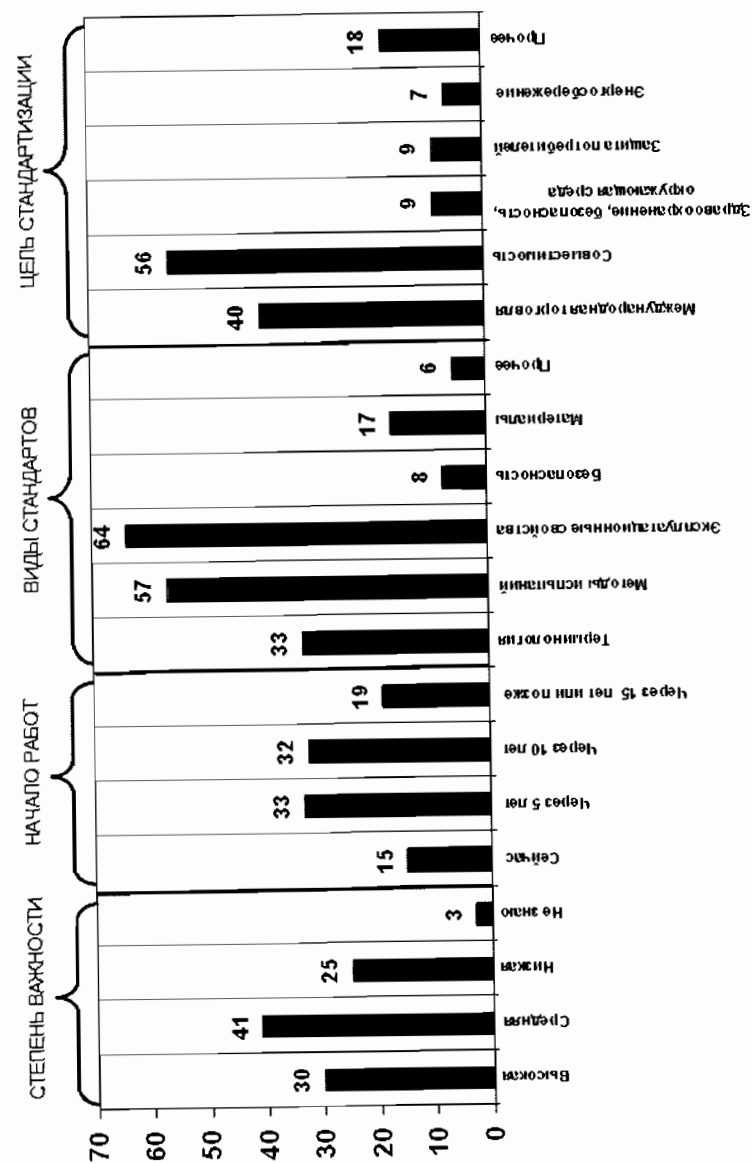


Рис. 23. Данные ИСО по результатам опроса о необходимости работ по стандартизации в рамках темы «Разработка методов, обеспечивающих обработку образцов с точностью до 10 нанометров»

оси отмечены номера тем из перечня Приложения 1, представлены на рис. 24. Выбор экспертов, как правило, ограничивался двумя главными целями — безопасностью и совместимостью.

Ответы кардинально различались в зависимости от сферы применения нанотехнологий. Так, безопасность играла исключительную роль в темах, касающихся науки о жизни (биология), сельского хозяйства (растениеводство и животноводство), медицины и городского хозяйства (очистка воды). Высказавшихся в пользу таких стандартов было от 70 до 92 %. В то же время значение стандартов для обеспечения совместимости по этим темам оценивалось в 8–14 %.

Диаметрально противоположные ответы имели место по темам, связанным с информацией и электроникой. Здесь на первое место выступает проблема совместимости.

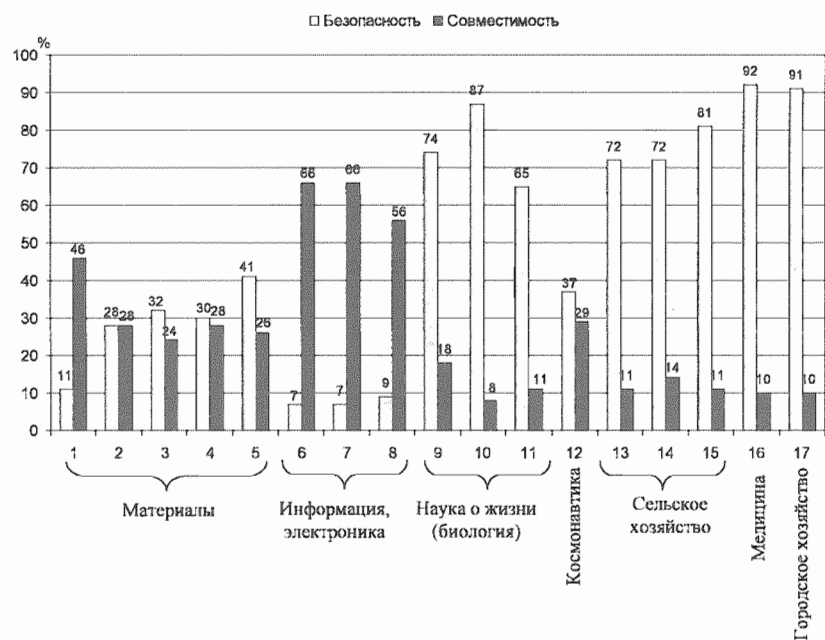


Рис. 24. Доля экспертов, определивших основную цель международной стандартизации

Результаты экспертизы по приведенным в перечне темам показаны на рис. 25. Анализ показал, что в первоочередном порядке должны разрабатываться международные стандарты на эксплуатационные свойства объектов, связанных с применением нанотехнологий. По подавляющему большинству тем за этот вид стандарта высказались свыше половины экспертов, а по семи темам 60–70 % опрошенных.

Чуть ниже процент высказавшихся за стандарт на методы испытаний. Исключением стала лишь тема разработки технологии неразрушающего контроля, способной выявлять дефекты на микронном уровне в керамических материалах. Это вполне объяснимо, поскольку сама тема связана именно с методами испытаний.

Исходя из прогнозов ИСО строилась дальнейшая работа по международной стандартизации. Однако сложность и новизна

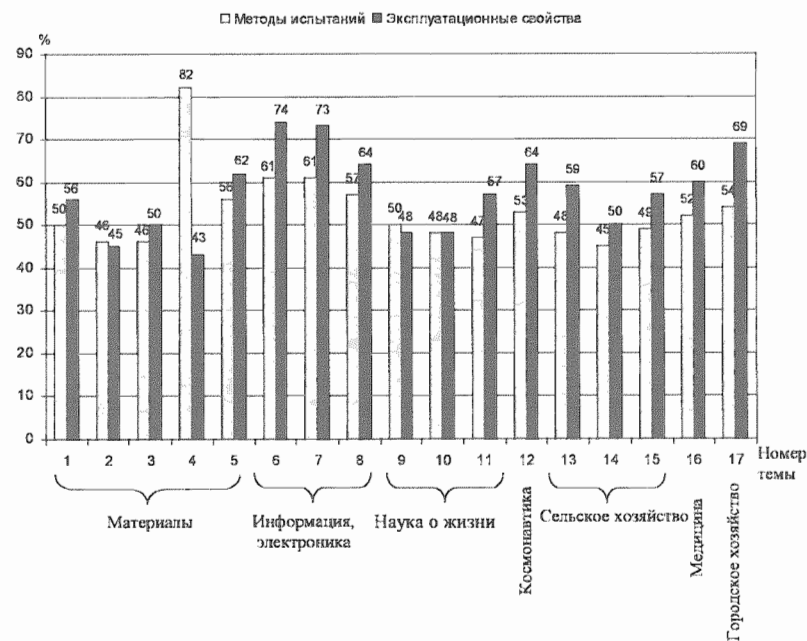


Рис. 25. Доля экспертов, высказавшихся за стандарт на эксплуатационные свойства и на методы испытаний

области нанотехнологий не позволили создать к настоящему времени требуемый фонд стандартов. До сих пор отсутствует единая терминология и системная классификация, недостаточна интенсивность разработки национальных стандартов, низка активность разработчиков стандартов и технических комитетов по стандартизации в части создания и применения нанотехнологий.

В настоящее время проводимая Комитетом работа отражает потребность в общей терминологии (особенно это касается наночастиц, идентифицированных в результате проведения многих исследований) и необходимость общего руководства при рассмотрении и испытании созданных моночастиц в производственной среде в ожидании утверждения предложений по таким новым рабочим темам, как чистота углеродной нанотрубки и токсикология серебра наночастиц [116].

При опросе членов ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии» общесогласованная терминология определилась как рабочая тема первоочередной важности. Предполагается, что заблаговременная разработка общепринятых терминов обеспечит их техническое и юридическое понимание и будет содействовать их активному использованию.

Создание стандартизованного словаря по нанотехнологиям имеет большое значение для решения проблем, связанных с защитой интеллектуальной собственности. При отсутствии такого словаря технология остается недостаточно определенной, что затрудняет разграничение интересов собственности. Это в свою очередь может создать препятствия для необходимых инвестиций. Сегодня к изданию готовится словарь терминов и определений по стандартизации и метрологии в области нанотехнологий, составленный автором книги.

Патентные бюро во всем мире вынуждены полагаться на существующие источники терминологии, для которых характерна различная степень точности для идентификации априорного условия (что рассматривается как важный этап в разграничении между существующей и новой интеллектуальной собственностью).

Например, Бюро США по патентам и торговым маркам, вероятно, позаимствовало определение технологии, предложенное

в рамках Национальной инициативы США по нанотехнологиям (NNI), как изобретение, связанное с наноструктурами, которое является другим общеупотребляемым, но недостаточно четко описанным термином.

Не вызывает сомнения тот факт, что нанотехнология представляет собой область, отличительной характеристикой которой является весьма специфический и необычный словарь, например: nanotube (нанотрубка), nanohorns (нанорога), qubit (кюбит), nanofiber (нановолокно), fibril (фибрилла) [31].

В некоторых случаях значения терминов, используемых в нанотехнологии, нарушают обычный принятый порядок, например значение термина particle (частица). Отсутствие стандартизованной терминологии по таким материалам усложняет задачу определения области деятельности и юридическую силу существующих и будущих претензий.

Процесс разработки стандартов позволяет ассимилировать ключевые концепции в более общий словарь, который окажет большую помощь в работе практикующих юристов, специализирующихся в защите интеллектуальной собственности, в их усилиях по идентификации и защите интересов собственности.

Учитывая многообразие нанотехнологий, не вызывает сомнения тот факт, что стандартизация потребует взаимодействия различных областей знаний. Действительно, такие комитеты ИСО, как ТК 24 «Сита, просеивание и другие методы определения гранулометрического состава», ТК 146 «Качество воздуха» и ТК 201 «Химический анализ поверхностей», уже опубликовали стандарты на наномасштабную технологию и менеджмент [76].

На сегодняшний день в стадии разработки и утверждения находятся 22 стандарта ИСО в области нанотехнологий (табл. 7).

На данном этапе на стадии публикации находится только один стандарт. Девять из них (что соответствует 41 %) — на стадии предложения, и столько же стандартов — на предварительной стадии.

Полный список стандартов ИСО, с указанием состояния на сегодняшний день, приведен в **Приложении 2**.

Однако не только технические комитеты ИСО заинтересованы в стандартизации нанотехнологий. Результаты работ в области

Таблица 7

Стадии разработки стандартов ИСО

Этап разработки	Количество стандартов
Стадия предложений	9
Предварительная стадия	9
Стадия ТК	3
Стадия одобрения	1
Стадия публикации	1

нанотехнологий окажут воздействие на деятельность многих комитетов Международной электротехнической комиссии (МЭК), которая недавно создала свой технический комитет (ТК 113 «Стандартизация в области нанотехнологий электротехнической и электронной продукции») для рассмотрения отдельных аспектов нанотехнологий в электротехнике, которые не охвачены деятельностью существующих комитетов ИСО.

Для исключения дублирования работ между ИСО/ТК 229 и МЭК/ТК 113 предлагается создать две совместные рабочие группы: 1) по терминологии и номенклатуре и 2) измерению и характеристике с целью обеспечения совместной разработки стандартов, представляющих общий интерес.

Помимо многих существующих технических комитетов другие организации также проявляют интерес к разработке стандартов, включая проведение преднормативных исследований.

Одна область, рассматривающая потенциальное воздействие нанотехнологий на здоровье и окружающую среду, является предметом особого рассмотрения Комитета Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР) по химическим продуктам, который в сентябре 2006 г. создал рабочую группу по изготовленным наноматериалам для разработки и внедрения программы работ, предусматривающей международное сотрудничество в области безопасности изготовленных наноматериалов для здоровья и окружающей среды.

В соответствии с обязательством ИСО по охране окружающей среды и устойчивому развитию, ИСО/ТК 229 определил

с самого начала своей работы проблемы здоровья человека и окружающей среды как вопросы первостепенной важности, что подтверждается созданием рабочей группы по здравоохранению и окружающей среде.

Одним из приоритетных направлений работы ИСО/ТК 229 является технический отчет, подытоживающий устоявшиеся методологии в области гигиены труда и безопасности в контексте нанотехнологий.

Последний внутренний опрос членов ИСО/ТК 229 выявил несколько первоочередных тем для стандартизации в среднесрочной перспективе. Многие из этих тем затрагивают такие проблемы, как идентификация и оценка рисков (например, скрининг токсичности, оценка воздействия), оценка воздействия внешних условий и контроль (например, мониторинг, устоявшиеся методы управления воздействием) и оценка воздействия внешних факторов на потребителя и менеджмент (например, оценка жизненного цикла, этикетирование).

Именно эти темы все чаще становятся объектом рассмотрения и обсуждения регулирующих органов во многих странах мира, а некоторые из них пересекаются с работами, выполняемыми в настоящее время в рамках Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР) (Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)).

В рамках рабочей группы в настоящее время рассматривается шесть проектов, в двух из которых ИСО/ТК 229 принимает активное участие, а именно: «Испытания на безопасность представительного комплекта изготовленных наноматериалов» и «Руководящие положения по проведению испытаний». Для обеспечения этой работы планируется создание связей категории А (то есть привлечь различные организации к участию в работе ТК (ПК) ИСО) для обеспечения наиболее эффективного результата и в настоящее время разрабатывается соглашение о сотрудничестве.

Область безопасности общества также подпадает под связь категории А с Институтом по защите и безопасности населения Объединенного исследовательского центра ЕС в г. Испра (Италия).

Институт ЕС по эталонным материалам и измерениям тесно взаимодействует с Комитетом ИСО по эталонным материалам (Committee for Reference Materials, REMCO).

Многочисленный и увеличивающийся состав членов ТК 229 включает 28 представителей национальных организаций по стандартизации в статусе полноправных членов ИСО (Participating countries), 9 членов-наблюдателей (Observer countries), а также 20 наблюдателей (рис. 26.).

Недавно состоявшееся создание связи категории А с Азиатским нанофорумом (Asia Nano Forum, ANF) дало возможность странам Юго-Восточной Азии получать информацию и вносить посильный вклад в деятельность ИСО/ТК 229, не принимая непосредственного участия в работе этого комитета.

Работа в региональной организации по нанотехнологиям посредством официально установленной связи может представлять модель для возникающих или развивающихся экономик в странах Африки и Южной Америки.

В соответствии с экономическими прогнозами, предполагаемыми к 2015 г. ежегодный экономический эффект от внедрения нанотехнологий в мировую экономику в размере более 1 трлн. долл., становится ясно, что нанотехнологии будут иметь глобальное и самое широкое воздействие и распространение в мире.

Нанотехнологии входят в интегрированную экономику международных цепочек поставок промышленной продукции и в финансовые взаимоотношения. Степень значимости добровольных стандартов, разработанных на основе консенсуса, увеличивается параллельно с развитием международной экономики,

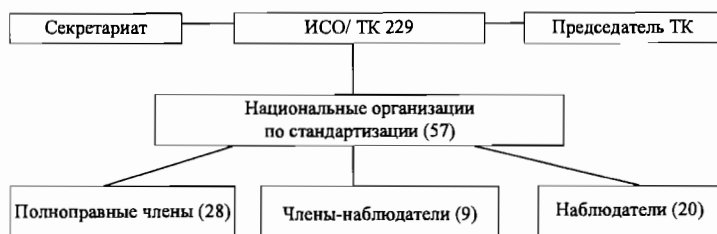


Рис. 26. Состав ИСО/ ТК 229

и они оказывают значительное влияние на публичное и частное международное право.

В соответствии с публичным правом и Соглашением ВТО о технических барьерах в торговле (ТБТ) требования, которые основываются на стандартах, разработанных ИСО на основе консенсуса, не являются предположительно запретительными нетарифными барьерами в торговле.

Это повышает степень влияния стандартов ИСО на международное и национальное законодательство, поскольку Соглашение о ТБТ эффективно поддерживает страны, использующие стандарты в своем законодательстве.

Следовательно, вполне естественным является тот факт, что национальные регулирующие органы, а также такие межправительственные организации, как ОЭСР, заинтересованы в тесном сотрудничестве с ИСО ТК 229.

Разработка стандартов по нанотехнологиям внесет значительный вклад в деятельность международного сообщества и позволит обеспечить успешную интеграцию нанотехнологий в структуру общества.

В России подобные задачи решаются в рамках Технического комитета по стандартизации ТК 441 «Нанотехнологии и наноматериалы» Ростехрегулирования, созданного в марте 2001 года. Секретариат ТК 441 ведет Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума (НИЦПВ). Перечень областей по стандартизации и перечень продукции приведен в **Приложении 3**. В ТК 441 «Нанотехнологии и наноматериалы» входят подкомитеты и участвующие в его работе организации, список которых приведен в **Приложении 4**.

На 1 июля 2008г. разработано и принято шесть стандартов (табл. 8) [90]:

Все принятые стандарты связаны с методами измерений и испытаний. Кроме того, на стадии разработки находятся еще три стандарта, в том числе и стандарт на терминологию.

С целью активизации работ в области нанотехнологии, создания в Российской Федерации современной инфраструктуры национальной нанотехнологической сети для развития и реали-

Принятые стандарты в области нанотехнологий

ГОСТ Р 8.631-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые измерительные. Методика поверки
ГОСТ Р 8.630-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые измерительные. Методика поверки
ГОСТ Р 8.636-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы электронные растровые. Методика калибровки
ГОСТ Р 8.635-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Микроскопы сканирующие зондовые атомно-силовые. Методика калибровки
ГОСТ Р 8.629-2007	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры рельефные нанометрового диапазона с трапециевидальным профилем элементов. Методика поверки
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

зации потенциала отечественной nanoиндустрии Правительством РФ была принята Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» [2].

В области стандартизации данная программа предусматривает гармонизацию национальных стандартов с требованиями международных стандартов в области нанотехнологий и обеспечения безопасности создания и применения объектов nanoиндустрии.

Работу по реализации этой программы необходимо осуществлять при тесном взаимодействии с международными организациями, осуществляющими деятельность в области стандартизации и обеспечения единства измерений, — Международной органи-

зацией по стандартизации, Международной электротехнической комиссией, Международной организацией законодательной метрологии, Международным бюро мер и весов.

Программой предусмотрено финансирование работ по метрологическому обеспечению и стандартизации нанотехнологий на 2008–2010 годы в объеме 1,5 млрд. руб. Однако по рекомендации Европейского экономического комитета (ЕЭК) ООН рекомендовала правительствам стран поддерживать разработку и обновление национальных первичных эталонов в объемах 0,005 % от ВВП.

То есть указанного финансирования недостаточно для преодоления отставания России в области метрологического обеспечения и стандартизации нанотехнологий и обеспечения их опережающего развития, необходим объем финансирования 3–4 млрд. рубл.

К основным проблемам в области стандартизации, которые необходимо решать для развития сферы нанотехнологий, относятся:

- отсутствие единой терминологии; отсутствие системной классификации нанопродукции и наноматериалов;
- низкая интенсивность разработки национальных стандартов, ограниченность объема и низкие темпы пополнения фонда стандартов и нормативных документов в области нанотехнологий;
- недостаточный объем научных исследований и нехватка профессиональных кадров для проведения работ по стандартизации нанотехнологий, недостаточное финансирование;
- низкая активность разработчиков стандартов и технических комитетов по стандартизации в части создания и применения нанотехнологий.

Для решения этих проблем, на наш взгляд, необходимо вести работу по следующим основным направлениям:

- ускоренная разработка терминологического стандарта в области нанотехнологий;
- интенсивная разработка национальных стандартов на нанопродукцию и наноматериалы и участие России в работе международных организаций по стандартизации;

— реализация федеральной программы в части научных исследований и подготовки кадров в области нанотехнологий;

— планирование работ НИИ и предприятий различных отраслей, занимающихся вопросами по разработке нанопродукции и нанопроцессов, и их финансовое обеспечение.

Таким образом, в данной главе мы сформулировали основные проблемы стандартизации в области нанотехнологий, определили направления их решения и оценили современное состояние и аспекты стандартизации применительно к нанотехнологиям, в том числе и на международном уровне.

Разработка единых требований позволяет активнее развивать nanoиндустрию как в России, так и зарубежом, а также способствует повышению конкурентоспособности в данной области.

Не менее важна в области нанотехнологий и роль метрологии. В силу специфики наномира в средствах и методиках измерений существуют свои особенности, о которых подробнее будет изложено в следующей главе.

Глава 3

МЕТРОЛОГИЯ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

3.1 Обеспечение единства измерений

Измерения являются одним из путей познания природы человеком. Они являются основой научных знаний, служат для учета материальных ресурсов, обеспечения требуемого качества, взаимозаменяемости деталей и узлов, совершенствования технологии, охраны здоровья и обеспечения безопасности труда и для многих других отраслей человеческой деятельности. Измерения количественно характеризуют окружающий материальный мир, раскрывая действующие в природе закономерности. Об этом сказал основоположник отечественной метрологии Дмитрий Иванович Менделеев: «Наука начинается... с тех пор, как начинают измерять. ...Точная наука немыслима без меры». Известно аналогичное высказывание и основоположника английской метрологии Томсона: «Каждая вещь известна лишь в той степени, в какой ее можно измерить».

Директор Международного бюро мер и весов профессор Эндрю Воллард в послании к Всемирному дню метрологии 20 мая 2005 г. писал: „Экономический успех страны зависит от ее способности производить и продавать **точно измеренные и испытанные товары и услуги**. Метрология играет центральную роль для производителей, поставщиков и потребителей товаров и услуг. **Все слои общества должны иметь уверенность в точности и надежности измерений, сделанных на нужном уровне точности**».

Измерениями в России занимаются десятки миллионов человек. По экспертным оценкам на деятельность, связанную с измерениями в России, расходуется порядка 3,8 % стоимости валового национального продукта. В таких странах, как США, Япония, Англия, Германия, эти затраты достигают 12 %, и имеется тенденция их постоянного роста, что связано с усложнением производства и выпуском наукоемкой продукции, внедрением современных технологий производства, в том числе нанотехнологий. Например, процедуры измерений по объему работ в стоимости достигают в электронной промышленности порядка 60–70 %.

Без получения посредством измерений достаточно полных и достоверных сведений было бы невозможно достигнуть крупнейших научных и практических результатов в области использования атомной энергии, освоения космоса, в области создания новых материалов с заранее заданными свойствами и обеспечении качества продукции и услуг.

Напомним, что качество — это совокупность характеристик объекта, которые придают ему способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности (ИСО 8402:1994).

При этом объектами могут быть продукция, деятельность или процесс, услуги, системы и др.

Надлежащее качество может быть достигнуто совокупной деятельностью стандартизации, метрологии и оценки соответствия.

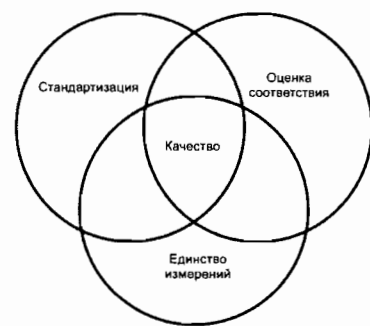


Рис. 27. Система обеспечения качества

Каждый из указанных видов деятельности связан с двумя другими, но они имеют общую часть — качество (рис. 27).

Каждый объект описывается совокупностью характеристик, которые подлежат нормированию, т. е. являются объектами метрологии, а объекты подвергаются различным испытаниям для подтверждения характеристик заданным требованиям, т. е. оценке соответствия.

Результаты испытаний в свою очередь основываются на достоверных результатах измерений во время испытаний, единство которых обеспечивается и гарантируется Российской системой измерений. Таким образом, система измерений является объективным инструментом для обеспечения и оценки качества продукции и услуг через стандарты, метрологическое обеспечение производства и испытаний [55].

Связь метрологии со стандартизацией выражается прежде всего в стандартизации единиц измерений, системы государственных эталонов, средств измерений и методов поверок, в создании стандартных образцов свойств и состава веществ. В свою очередь стандартизация опирается на метрологию, обеспечивающую правильность и сопоставимость результатов испытаний материалов и изделий, а также заимствует из метрологии методы определения и контроля качества.

В решении задачи обеспечения качества измерений основная роль принадлежит метрологии — науке об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и требуемой точности. Решение задачи достигается путем создания государственных эталонов, «привязки» к ним проводимых измерений и установления метрологических правил и норм по отношению к измерениям и средствам измерений. Если не соблюдается единство измерений, даже самые «тонкие» измерения, проводимые с помощью правильно подобранных средств измерений, не дадут необходимых результатов.

Единство измерений является одним из важнейших условий эффективности исследования и разработок, управления производством и другими объектами, диагностики и лечения болезней, достоверного учета материальных и энергетических ресурсов, контроля качества продукции, условий безопасности труда и охраны окружающей среды, надежности работы связи и транспорта, обороны государства.

Повышение точности измерений при учете энергоресурсов, сельскохозяйственной продукции и других материальных ценностей приводит к существенной экономии при их перевозке, хранении и расходовании [8].

Повышение точности измерений качества нефти на 0,5 % равносильно вовлечению в оборот ~2,25 млн. т нефти.

От качества измерительной информации в медицине зависит правильность диагностики заболеваний и эффективность лечения.

Единство измерений — это состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Иными словами, единство измерений основано на четырех основных принципах:

- результаты выражены в узаконенных единицах;
- размер единиц, хранимых средствами измерений, равен размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами;
- погрешности результатов измерений известны;
- погрешности измерений не выходят за установленные пределы.

Без выполнения этих условий невозможно добиться единства измерений. Наиболее важным условием обеспечения единства измерений является «привязка» измерений к государственным эталонам, что, в соответствии со стандартами ИСО серий 9000, является обязательным условием в обеспечении качества продукции, процессов и услуг (рис. 28).

Прослеживаемость — свойство эталона единицы величины или средства измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений [2].

В соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений», единство измерений сегодня рассматривается как одно из важнейших условий эффективности исследования и разработок, управления производством и другими объектами, диагностики и лечения болезней, достоверного учета материальных и энергетических ресурсов, контроля качества продукции, условий безопасности труда и охраны окружающей среды, надежности



Рис. 28. Прослеживаемость измерений

работы связи и транспорта, обороны государства, а ГСИ должна трактоваться как государственная система управления деятельностью по обеспечению единства измерений.

Основная цель ГСИ — создание на межотраслевом уровне правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий, необходимых для решения задач по обеспечению возможности всем отраслям, предприятиям, организациям, исследователям, специалистам во всех сферах деятельности правильно оценивать точность выполняемых ими измерений, а также, что не менее важно, оценивать влияние точности измерений на правильность, основанную на результатах измерений, информации о свойствах веществ и материалов, о количестве и качестве материальных и энергетических ресурсов, сырья, материалов, полуфабрикатов продукции, о характеристиках процессов и явлений.

Гарантией надежного функционирования ГСИ является четкое взаимодействие составляющих ее подсистем — правовой, организационной и технической.

В процессе осуществляемой в нашей стране административной реформы сформировалась **организационная структура Государственной системы измерений (ГСИ)**, представленная на рис. 29 [8].

Основная функция Правительства Российской Федерации в области обеспечения единства измерений заключается в формировании в стране такого положения, при котором обеспечивается доверие к результатам измерений и эффективная защита от недостоверных измерений, а также непрерывное развитие метрологии, достаточное для решения приоритетных, перспективных задач в жизненно важных сферах Российской Федерации.

На Минпромэнерго России возложена обязанность по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование) выполняет функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере метрологии, осуществлению государственного метрологического надзора, а также по межотраслевой и межведомственной координации в области обеспечения единства измерений и по взаимодействию в установленном порядке с международными организациями в сфере метрологии.

Выполнение своих функций Ростехрегулирование осуществляет с помощью организационной структуры, изображенной на рис. 29 и включающей:

- национальные метрологические институты;
- государственные службы по обеспечению единства измерений в Российской Федерации;
- центры стандартизации и метрологии в субъектах Федерации, выполняющие функции органов государственной метрологической службы;
- территориальные органы Ростехрегулирования;
- аккредитованные организации на компетентность в области метрологии;
- метрологические службы (МС) федеральных органов исполнительной власти;
- метрологические службы юридических лиц.

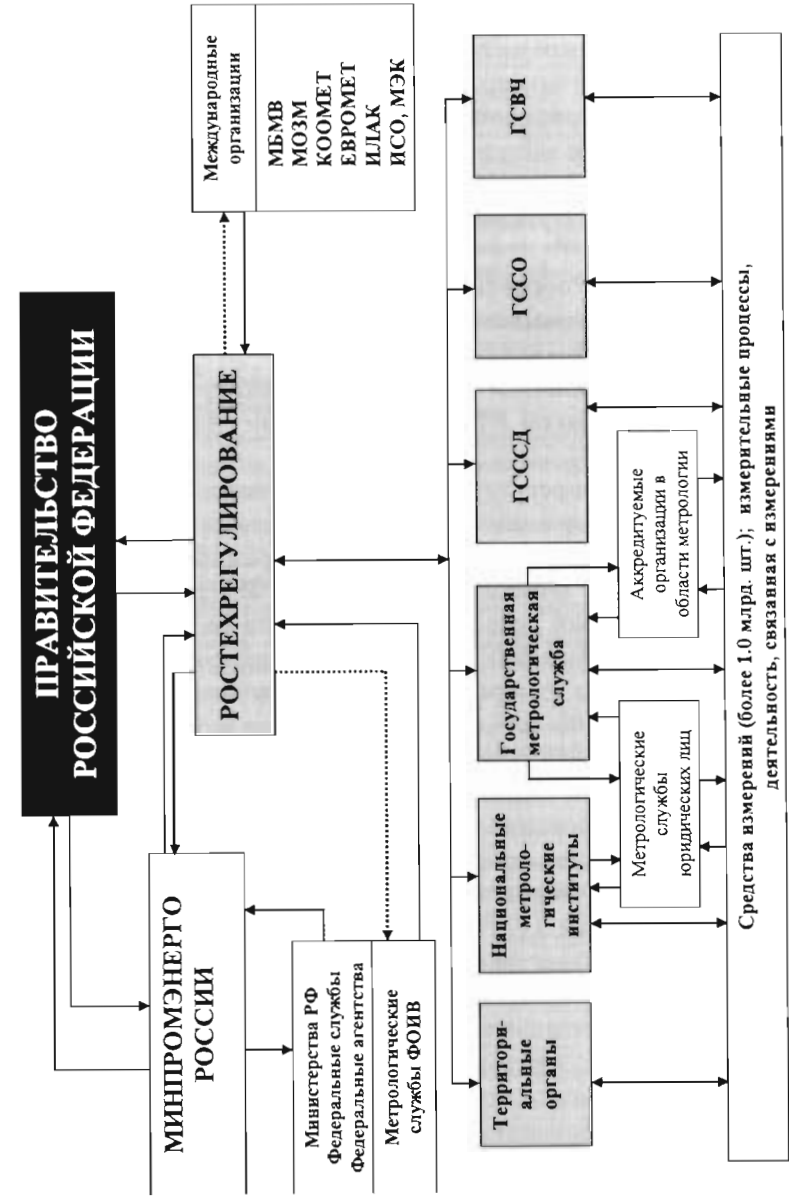


Рис. 29. Организационная структура государственной системы измерений

Правовая подсистема представляет собой комплекс законодательных актов и межотраслевых нормативных и рекомендательных документов, регламентирующих общие правила и нормы в метрологии, государственные поверочные схемы, методики поверки (калибровки) и методики выполнения измерений.

Структура нормативно-правовой базы в области обеспечения единства измерений, сложившейся к настоящему времени, представлена на рис. 30.

В Конституции Российской Федерации записано, что в ведении Российской Федерации находятся «стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени».

Опираясь на указанное положение Конституции 27 апреля 1993 г., был принят Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» № 4871-1.

Указанный Закон регулирует отношения, связанные с обеспечением единства измерений в Российской Федерации, а его целью является защита прав и законных интересов граждан, установленного правопорядка и экономики Российской Федерации от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Важнейшей составляющей нормативно-правовой базы Государственной системы измерений является комплекс постановлений Правительства РФ и Ростехрегулирования, которые регулируют отношения по обеспечению единства измерений.

Данный комплекс нормативно-правовых документов (НПД) обеспечивает регулирование метрологической деятельности в различных отраслях экономики, а также при аккредитации, сертификации, метрологическом контроле и надзоре.

В настоящее время в составе ГСИ около 3000 документов, утвержденных Госстандартом России (ныне — Ростехрегулирование) и его метрологическими институтами. На рис. 31 представлена структура нормативных документов [8].

ПР — правила по метрологии

МИ — рекомендации по метрологии

В группу основополагающих ГОСТов входят около 150 документов. Большая часть документов ГСИ регламентирует организацию и порядок выполнения различных видов метрологических

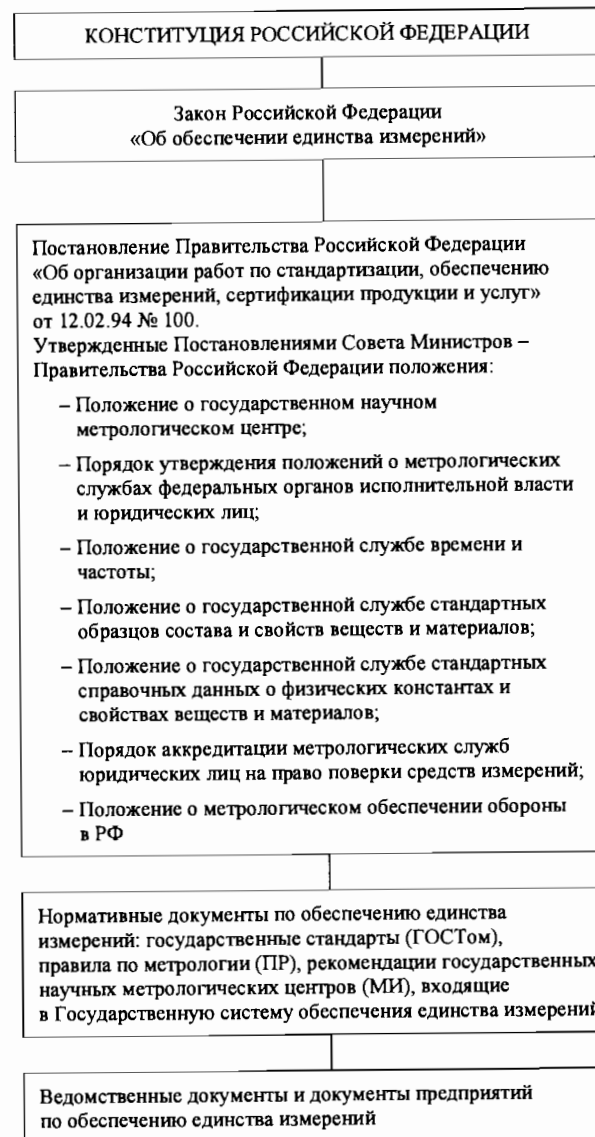


Рис. 30. Правовая база в области обеспечения единства измерений

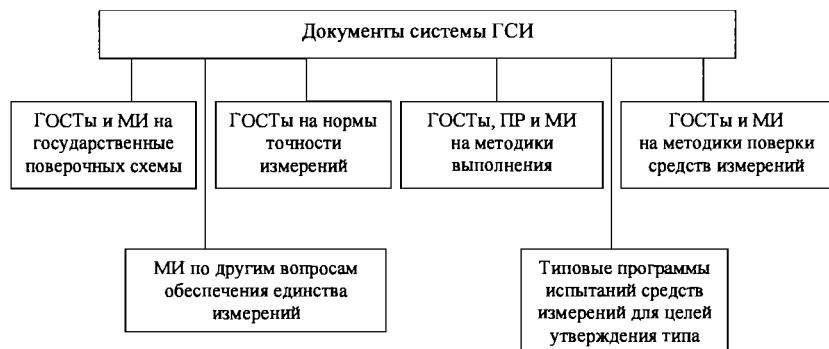


Рис. 31. Структура нормативных документов Государственной системы измерений (ГСИ)

работ: поверку средств измерений, разработку и аттестацию методик выполнения измерений, метрологическую экспертизу технической документации, испытания средств измерений в целях утверждения типа, государственный метрологический контроль и надзор, лицензирование предприятий по различным направлениям метрологической деятельности, анализ состояния измерений, аккредитацию метрологических служб, типовые положения о метрологической службе и другие вопросы. Это так называемые **организационные** документы.

Другая часть **основополагающих** документов ГСИ регламентирует методики проведения ряда метрологических работ: оценивание погрешности измерений, установление межповерочных интервалов, оценивание метрологических характеристик средств измерений, выбор средств измерений, расчет экономического эффекта от внедрения средств измерений и методик выполнения измерений, установление требований к методикам поверки и другие вопросы.

Еще одна часть **основополагающих** документов ГСИ устанавливает метрологические термины и их определения, единицы величин, классы точности и нормируемые метрологические характеристики средств измерений, формы представления погрешностей измерений и др.

В группе документов на **государственные поверочные схемы** около 180 ГОСТов и МИ.

Они играют значительную роль в поверочной (калибровочной) деятельности метрологических служб. При организации поверки (калибровки) государственные поверочные схемы используются непосредственно или через локальные поверочные схемы.

В документах на государственные поверочные схемы содержится следующая информация:

- воспроизводимая и хранимая эталоном единица величины;
- среднее квадратическое отклонение результата измерений, неисключенная систематическая погрешность и нестабильность эталона за год;
- технические средства, входящие в состав эталона;
- наименование величины, размер единицы, которая передается средствам измерений;
- методы передачи размера единицы величины;
- метрологические характеристики рабочих эталонов, используемых для передачи размера единицы величины;
- диапазон значений или номинальные значения передаваемой величины.

Документы на **нормы точности измерений** содержат: погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров (ГОСТ 8.051, ГОСТ 8.549), нормы точности дозирования торговыми автоматами (ГОСТ 10309), нормы точности определения массы в резервуарах (ГОСТ 8.378), нормы точности взвешивания и дозирования (ГОСТ 13712) и ряд других норм точности измерений.

В группе документов ГСИ на **методики выполнения измерения** около 190 ГОСТов, ПР и МИ.

Комплекс метрологических документов основан и тесно взаимосвязан с Государственной системой стандартизации, которая определяет порядок планирования, разработки, внедрения документов, структуру их построения и содержания.

Документы ГСИ также взаимосвязаны со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

В свою очередь нормы и требования, установленные в метрологических документах, должны учитываться в этих системах.

Техническую подсистему составляют государственные эталоны, установки высшей точности, рабочие эталоны всех разрядов, стандартные образцы и испытательное оборудование, необходимые для осуществления метрологического контроля и надзора.

Для обеспечения единства измерений в нашей стране введена Международная система единиц (СИ). На ее основе разработан ГОСТ 8.417–02 «ГСИ. Единицы физических величин». Все другие системы единиц, действовавшие до его принятия, подлежат изъятию. Допускается применение ограниченного числа внесистемных единиц.

Международная система единиц была принята на XI Генеральной конференции по мерам и весам в октябре 1960 г. Система СИ состоит из семи основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела, моль), двух дополнительных (радиан и стерадиан) и ряда производных, количество которых не ограничено.

Все применяемые средства измерений должны градуироваться только в унифицированных единицах, установленных ГОСТом 8.417–02.

Одной из составляющих системы обеспечения единства измерений является система воспроизведения единиц и передачи их размера рабочим средствам измерений (рис. 32). Единица физической величины при централизованной системе воспроизво-



Рис. 32. Классификация эталонов

дится государственным эталоном, который характеризует величину с наивысшей точностью.

Эталон единицы физической величины — средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Государственный эталон единицы величины — эталон единицы величины, находящийся в федеральной собственности.

Статус государственным эталонам присваивается Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

Первичный эталон — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Государственный первичный эталон — первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Вторичный эталон — эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон сравнения — эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Рабочий эталон — эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

В международной практике государственные эталоны обычно называются национальными, а эталоны, хранимые в Международном бюро мер и весов, — международными. В нашей стране термин «национальный эталон» используется по отношению к государственному в тех случаях, когда отечественные государственные эталоны применяются для сличения с международными эталонами или с эталонами, принадлежащими другим государствам.

К первичным эталонам относят как соответствующие эталоны основных СИ, так и производных единиц СИ.

Размер единицы, воспроизводимой вторичными эталонами, «поддерживается» с помощью первичных (государственных).

Вторичные эталоны утверждаются в зависимости от особенностей их применения Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии или государственными научными метрологическими центрами.

Рабочие эталоны получают размер единицы, как правило, от вторичного эталона и служат для передачи размера единиц другим рабочим эталонам (меньшей точности) и рабочим средствам измерений.

В ряде случаев вторичные эталоны могут быть не только в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, но и других ведомствах, где они являются исходными средствами измерений в метрологических службах ведомств и обычно называются ведомственными эталонами. В отдельных случаях рабочие средства измерений могут иметь точность, превосходящую точность рабочих эталонов того или иного разряда. В этих случаях размер единицы передается им от рабочих эталонов высших разрядов, вплоть до вторичного эталона. Другими словами, некоторые рабочие средства измерений, не являясь по метрологическому назначению эталонами, по точности могут превосходить некоторые рабочие эталоны. Создание высокоточных рабочих средств измерений диктуется необходимостью измерений параметров и характеристик прецизионных технологических процессов (высоких технологий) или высокоточных технических устройств, например, в области нанотехнологий.

Международные эталоны хранятся в Международном бюро мер и весов, и в соответствии с международными соглашениями с их помощью периодически проводятся сличения национальных эталонов разных стран.

В соответствии с Конституцией Российской Федерации и законом Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» государственные эталоны находятся в ведении Российской Федерации (ранее функции собственника выполнял Госстандарт России, ныне — Ростехрегулирование).

В настоящее время в Российской Федерации 123 государственных первичных эталона, из них 6 эталонов основных единиц.

Все производные единицы Международной системы единиц СИ выражаются через основные единицы (*метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела*) по соответствующим уравнениям связи и Государственные первичные эталоны основных единиц, осуществляя воспроизведение этих единиц, тем самым обеспечивают и возможность воспроизведения всех производных единиц (рис. 33).

На рис. 34–39 приведены первичные эталоны единицы длины, массы, силы света, давления, силы и электрического напряжения [105, 114].

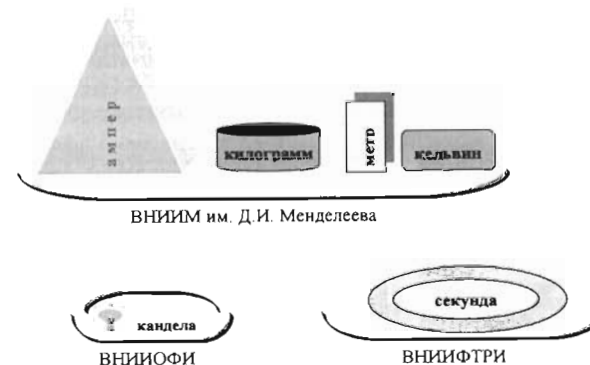


Рис. 33. Основные единицы величин и институты-хранители Государственных первичных эталонов

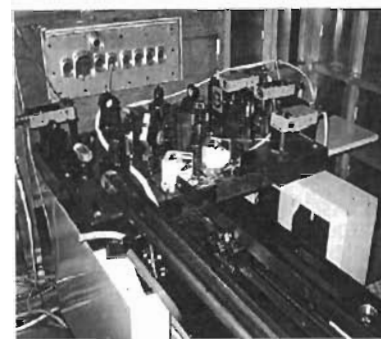


Рис. 34. Государственный первичный эталон единицы длины

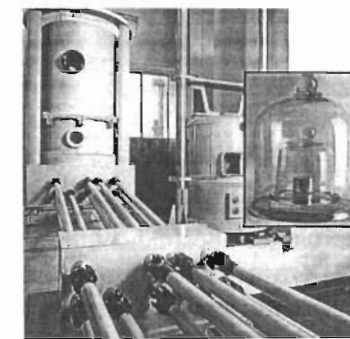


Рис. 35. Государственный первичный эталон единицы массы

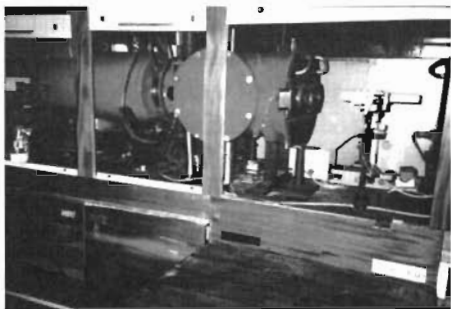


Рис. 36. Государственный первичный эталон единицы давления

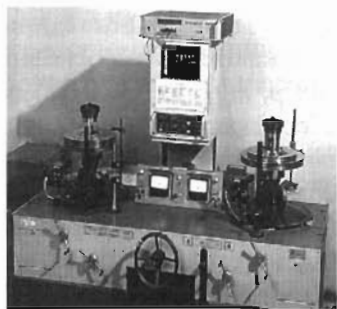


Рис. 37. Государственный первичный эталон единицы силы света



Рис. 38. Государственный первичный эталон единицы силы



Рис. 39. Государственный первичный эталон единицы электрического напряжения

Основными направлениями развития эталонной базы России в настоящее время являются [8]:

- оптимизация эталонной базы по составу и структуре;
- создание системы взаимосвязанных эталонов, в том числе «естественных», основанных на фундаментальных физических константах и стабильных физических исследованиях в области воспроизведения основных и важнейших производных единиц;

- создание систем эталонов, в которых разумно сочетается централизованное и децентрализованное воспроизведение единиц;
- поиск, исследование и внедрение новых физических явлений и технологий, способных обеспечить научный прорыв при создании эталонов;

— разработка предельных по точности методов и средств измерений эталонного значения.

Современная тенденция в развитии эталонов — переход на естественные способы воспроизведения единиц, основанные на фундаментальных физических константах. Это, естественно, должно привести к пересмотру Международной системы единиц. Даже сейчас, в 21 веке, одна из основных единиц системы СИ — килограмм определена посредством искусственно созданного объекта. При этом килограмм — не изолированная единица, с ее участием определены еще три основные единицы — ампер, моль, кандела.

Наиболее вероятным для нового определения массы, килограмма, является определение килограмма на основе постоянной Планка и постоянной Авогадро.

Высокая степень неизменности погрешности воспроизведения единиц величин, получаемая с помощью «квантовых» эталонов, ограниченная точностью фундаментальных физических констант, позволяет значительно повысить точность «квантовых» эталонов. Фундаментальные физические константы с появлением новых методов и средств измерений уточняются.

Например, проведенные совсем недавно измерения кванта магнитного потока позволили уменьшить суммарную погрешность с $4 \cdot 10^{-6}$ (1986 г.) до $3 \cdot 10^{-7}$.

Таким образом, соответственно будет возрастать точность квантовых эталонов. Способность воспроизводить единицу физической величины независимо от внешних условий со временем позволит рассматривать квантовые эталоны как «вечные» меры.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений»

Действующий в настоящее время Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» был принят Верховным Советом РФ в апреле 1993 г. [2].

Принятие Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» было обусловлено необходимостью пересмотра правовых, организационных и экономических основ метрологической деятельности в соответствии с требованиями перехода к рыночной экономике.

Объективная необходимость принятия и введения в действие Закона определялась принципами правового государства, направленными на защиту прав и интересов физических и юридических лиц, охрану правопорядка, интересов государства путем организации соответствующей правоисполнительской и правоохранительной деятельности.

Минувшие десять лет после принятия этого Закона показали, с одной стороны, его дееспособность, а с другой — выявили ряд пробелов в правовом регулировании, несогласованность ряда положений этого Закона с актами, принятыми в последующие годы, в том числе с ФЗ «О техническом регулировании». В связи с подготовкой к присоединению России к ВТО, процессами глобализации измерений и расширением общего экономического пространства возник ряд новых факторов, оказывающих непосредственное воздействие на измерения и метрологическую деятельность в целом и возникла необходимость в разработке нового федерального закона, направленного на:

- соответствие деятельности по обеспечению единства измерений уровню развития национальной экономики;
- защиту прав и законных интересов государства, юридических лиц и граждан от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- приведение законодательства в области обеспечения единства измерений в соответствии с последними решениями межправительственной Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ), членом которой является Российская Федерация;
- ограничение вмешательства государства в экономическую деятельность хозяйствующих субъектов, в том числе устранение избыточного государственного регулирования в области обеспечения единства измерений;

Указанные положения полностью реализованы в новом Федеральном законе «Об обеспечении единства измерений» (№ 102-ФЗ), подписанном Президентом РФ 26 июня 2008 года и вступающем в силу с 01 января 2009 г.

3.2 Особенности измерений в области нанотехнологий

Переход к нанотехнологиям поставил перед наукой и техникой ряд новых специфических задач, обусловленных малыми размерами элементов и структур, с которыми имеет дело нанотехнология. В этой развивающейся области знаний необходимо опережающее развитие метрологии, поскольку именно уровень точности и достоверности измерений способен либо стимулировать развитие соответствующих отраслей, либо служить сдерживающим фактором.

Метрология играет важнейшую роль при разработке и коммерциализации нанотехнологий и нанопродукции. Точные, достоверные и прослеживаемые измерения являются основой обеспечения успешного и безопасного развития нанотехнологий, а также подтверждением соответствия продукции nanoиндустрии. Здесь, как нигде более, актуален тезис: «если нельзя измерить, то невозможно создать».

Специфика нанотехнологий привела к развитию нового направления — нанометрологии. При этом **нанометрология**, по мнению специалистов, занимающихся вопросами измерений, **должна рассматриваться как обязательная часть всех нанотехнологий** [137].

Нанометрология и наноинженерия изучают и используют новые явления и признаки, которые появляются в тех случаях, когда какая-то характерная структура материала имеет нанометрические размеры. Очевидно, что основная задача нанометрологии — проведение измерений в диапазоне от 1 до 100 нм (в настоящее время с точностью до 0,1 нм) и адаптация существующих или разработка новых методов изучения свойств нанообъектов как функции их размеров.

Нанометрология охватывает измерение длины и определение размеров в нанометрическом диапазоне, а также измерение силы,

массы, температуры, электрических, физико-химических и иных свойств нанообъектов.

В табл. 9 приведены физические величины, подлежащие измерению в нанопромышленности (в частности, при производстве изделий микроэлектроники) [121].

В обзоре Европейского форума по нанотехнологиям, проходившего в июле 2006 г., отмечается важность нанометрологии для развития нанотехнологий [137]:

— нанотехнологии уже являются большим сектором промышленности, и ожидается, что они будут и далее развиваться быстрыми темпами;

— точный контроль размеров объектов — ключевой вопрос нанотехнологий и науки о нанообъектах. Размеры этих объектов менее 10 нм, и часто требуется точность до 0,1 нм. Для этого нужно разработать новые методы измерений;

— технологии измерений, разработанные для традиционных материалов, во многих случаях не могут быть применимы к наноструктурам. Должны быть созданы специальные методики измерений для наноструктур и наноматериалов. Невыполнение этого может привести к большим ошибкам при оценке результатов;

— ученые и инженеры хотят исследовать новые физические явления, появляющиеся при уменьшении размеров систем до нано-

метрических. Новые явления и свойства, возникающие при нанометрических размерах, требуют понимания и умения проводить измерения физических параметров очень малых объектов;

— наноструктуры, под которыми понимается особое расположение атомов или частиц, приобретают новые, иногда довольно необычные формы. Примерами могут служить фуллерены, наночастицы типа «ядро-оболочка», переплетенные нанотрубки, наноструктурные металлы. Это ставит новые задачи перед нанометрологией;

— должно быть создано новое оборудование для решения вышеуказанных задач;

— нужно разработать стандарты, соответствующие технологическим достижениям и охватывающие все увеличивающуюся область применения наноструктур.

Таким образом, **нанометрология** является очень важной областью исследований и разработок, **объединяющей в себе возможности для открытий в фундаментальной науке и открывающей перспективы коммерческого применения.**

Основные различия между этими двумя направлениями нанометрологии (исследовательское и промышленное) касаются точности измерений, стоимости/эффективности типов параметров и условий, в которых происходят измерения. В табл. 10 показаны эти основные различия.

Метрологическое обеспечение работ в наносфере должно отвечать тем измерительным потребностям, которые вытекают из характера и масштаба проводимых работ [61].

Измерительные потребности — это совокупность средств и методов измерений, обеспечивающих получение достоверных и признаваемых значений необходимых параметров и характеристик продукции на всех этапах жизненного цикла.

Как видно из представленного графика (рис. 40), измерительные потребности наиболее высоки на этапе исследований, так как здесь необходимы данные о свойствах, размерах, структуре и составе исследуемого объекта, метрологическое обеспечение изготовления опытных образцов и исследований возможных рисков, связанных с нанообъектами.

. Таблица 9

Физическая величина	Диапазон измерений	Физическая величина	Диапазон измерений
Длина, м	$10^{-11}+1$	Доля примесей, %	$10^{-8}+10^{-6}$
Масса, кг	$10^{-15}+10^2$	Сила тока, А	$10^{-16}+10^2$
Время, с	$10^{-16}+10^6$	Напряжение, В	$10^{-11}+10^5$
Температура, К	$1+3200$	Мощность, Вт	$10^{-17}+10^{10}$
Давление, Па	$10^{-11}+10^3$	Индуктивность, Гн	$10^{-18}+10^2$
Расход, м ³ /с	$10^{-7}+10^{17}$	Емкость, Ф	$10^{-19}+1$
Плотность, кг/м ³	$10^{-1}+10^4$	Сопротивление, Ом	$10^{-7}+10^{17}$
Концентрация, см ⁻³	$10^{10}+10^{22}$	Частота, Гц	$10^{-4}+10^{10}$

Исследовательская и промышленная нанотехнология

Нанометрология	
исследовательская	промышленная
Требуется очень высокая точность измерений	Требуется высокая эффективность измерительных систем
Главным образом визуальные наблюдения	Количественные параметры должны быть измерены
Количество измеренных параметров – как можно больше	Количество измеренных параметров – минимально приемлемое
Время и стоимость измерений – не важно	Время и стоимость измерений – минимальные
Важное значение играют условия окружающей среды	Измерения проводятся в условиях производственного процесса (неблагоприятные условия, воздействие вибрации, загрязненный воздух и т. д.)

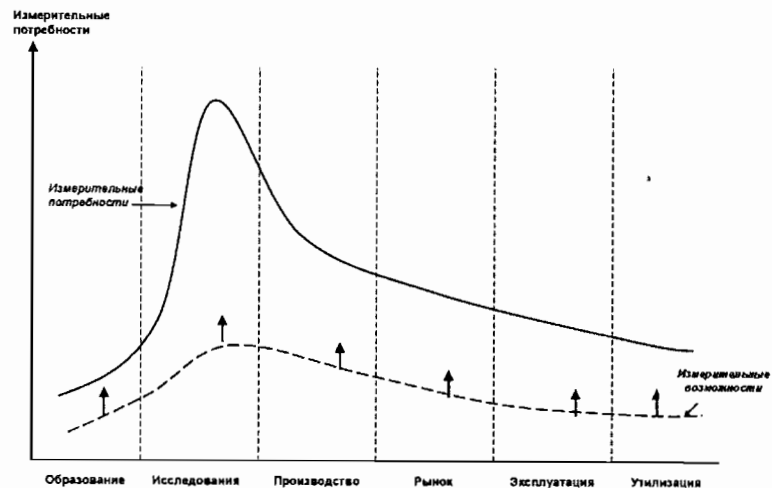


Рис. 40. Распределение измерительных потребностей и возможностей на этапах жизненного цикла продукции

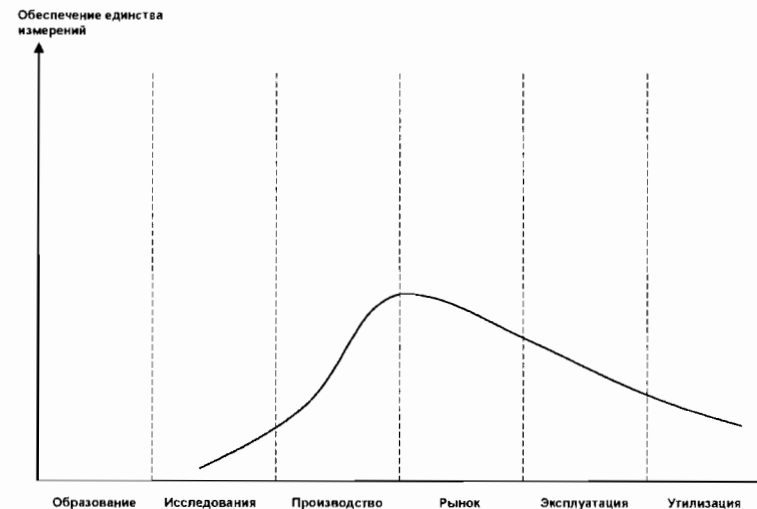


Рис. 41. Распределение работ по обеспечению единства измерений по этапам жизненного цикла продукции

Для обеспечения выпуска конкурентоспособной нанопродукции необходимо законодательно подтвердить ее соответствие установленным требованиям по общепризнанным процедурам. Поэтому потребность в обеспечении единства измерений возрастает на стадии передачи продукции от производства к рынку (рис. 41).

Обзор методов измерений, применяемых в нанометрологии

В настоящее время существует целый ряд методов получения информации о структуре вещества в нанометровом диапазоне измерений. Среди них сканирующая зондовая и электронная микроскопии, различные виды спектроскопии, рентгеноструктурный анализ, ядерный магнитный резонанс и другие.

Основные методы измерений и измеряемые свойства нанообъектов приведены в табл. 11 [61].

Остановимся более подробно на описании основных методов, применяемых в нанометрологии.

Таблица 11

Наименование метода	Диапазон измерений	Измеряемые свойства
Атомно-силовая микроскопия (АСМ) или сканирующая силовая микроскопия (ССМ)	Глубина: 0,5–5 нм; боковое разрешение: 0,2–130 нм	Топология, неровности поверхности, эластичность поверхности, размер зерна, фрикционные характеристики, удельные молекулярные взаимодействия и магнитные характеристики поверхности, общая плотность состояний (валентных) электронов до ферми-уровня на поверхности
Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)	Глубина: 1–5 нм; боковое разрешение: 2–10 нм	Трехмерная топология поверхности: размер, форма, неровности поверхности, дефекты, электронные структуры и местная плотность состояний
Растровая электронная микроскопия (РЭМ)	Глубина: 1 нм–5 мкм; боковое разрешение: 1–20 нм	Топография: характеристики поверхности Морфология: форма и размер частиц Состав: элементы и соединения, из которых состоит образец Кристаллографическая информация: расположение атомов
Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)	Глубина: 200 нм; боковое разрешение: 2–20 нм	Морфология: размер и форма частиц Кристаллографическая информация: обнаружение дефектов, атомной шкалы Информация по составу: элементы и соединения, из которых состоит образец и информация о присутствующих фазах (замер параметров кристаллической решетки) и ориентация образца
Растровая просвечивающая электронная микроскопия (РПЭМ)	Глубина: 200 нм; боковое разрешение: 2–20 нм	Структурная, химическая и морфологическая информация
Сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля (СОМП)	Разрешение: 50–100 нм	Химические особенности и ориентационная информация

Продолжение табл. 11

Наименование метода	Диапазон измерений	Измеряемые свойства
Спектроскопия потерь энергии электронов (СПЭЭ)	Глубина: < 200 нм; боковое разрешение: 1–100 нм	Химический состав образцов, электронная структура материалов, связи в кристаллах и на границе
Спектроскопия энергетической дисперсии рентгеновского излучения	0,1 мкм для более тяжелых атомов и 1 мкм для более легких элементов	Концентрации каждого элемента в образце, идентификация осадений в сплавах, активные фазы в катализаторах, элементарная сегрегация на границах зерна, количественный состав многокомпонентных фаз
Рентгеновская абсорбционная спектроскопия (РАС)	Глубина: нм — мкм	Структурная информация (связи, координация, количество)
Спектроскопия одиночных молекул (SMS)		Индивидуальные функциональные характеристики молекулярных систем, такие как, например, перенос возбуждения, разделение заряда и флуоресцентные воздействия
Электронная оже-спектроскопия (ЭОС)	Глубина: 0,3–3 нм; боковое разрешение ? 30 нм	Химический анализ: состав поверхностных слоев образца, атомные уровни
Поляризационная спектроскопия		Ориентация возбуждения и миссия; дипольные моменты переходов
Раман-спектроскопия		Химическая информация: концентрация примесей Вибрационная информация
Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия (ФРС) или электронная спектроскопия для химического анализа	Глубина: 0,5–10 нм; боковое разрешение: 5 нм–50 мкм	Химические элементы на поверхности, исследование уровня ядра

Наименование метода	Диапазон измерений	Измеряемые свойства
Масс-спектрометрия вторичных ионов	Несколько атомных слоев приблизительно 1–3 нм	Состав областей около поверхности материала, концентрация примесей
Ядерно-магнитный резонанс (ЯМР)		Магнитные свойства ядер, идентификация индивидуальных атомов в чистой молекуле и анализ состава неизвестных материалов, релаксация, мобильность и конформация функциональных молекул для интересующих систем

Микроскопия

«При изучении нанометрических размеров большую часть информации о создании устройств и материалов получают с помощью **микроскопии**. Чтобы получить все больше информации о нанометре необходимо постоянное усовершенствование инструментов и оборудования. Используя такой подход можно получить представление о топологии или морфологии нанообъектов, но и определить другие параметры, такие как химический состав, прочность, проводимость и др. [61].

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) является стандартным инструментом научных и производственных лабораторий (например, испытания качества больших интегральных схем). Как уже отмечалось для работы с нанообъектами требуются новые технологии. СЗМ является одним из основных инструментов для работы с нанообъектами [111].

Существуют десятки различных конструкций на основе общего принципа СЗМ. Электрохимическая СЗМ, магнитно-силовая микроскопия, микроскопия силы трения и сканирующие автоматические оптические микроскопы являются наиболее распространенными видами сканирующей туннельной микроско-

пии (СТМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ). Они позволяют делать изображения рельефа поверхности и соотношение с различными физическими параметрами с очень большим увеличением в единицах от миллиметровой до нанометровой шкалы.

СЗМ обладает достаточно широким набором методик для исследования поверхностей. Общим для всех методов является наличие заостренного зонда, как инструмента работы с поверхностью образцов. Существуют контактные, полуконтактные и бесконтактные методы, а также различные режимы работы, среди которых: туннельный режим, атомно-силовой режим, режим спектроскопии и др. С помощью этих методик можно измерять не только топологию структуры, но и множество специальных свойств, таких как модули упругости, распределение различных веществ по поверхности, степень шероховатости поверхности, распределение статического заряда, ориентация магнитных доменов и др. (табл. 12).

Таблица 12

Характеристики основных методов и методик микроскопии

Наименование	Общие характеристики
1. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)	
1.1. Метод постоянного тока (Constant Current mode)	Измерение рельефа поверхности при сканировании образца проводящим зондом, при этом система обратной связи поддерживает постоянной величину туннельного тока между зондами и поверхностью
1.2. Метод постоянной высоты (Constant Height mode)	Измерение рельефа поверхности при сканировании образца проводящим зондом, при этом система обратной связи поддерживает постоянной величину туннельного тока между зондом и поверхностью и z-координата сканера поддерживается постоянной
1.3. Метод отображения работы выхода	Измерение рельефа поверхности получается путем поточечного измерения логарифмических изменений туннельного тока при изменении расстояния зонд-образец

Наименование	Общие характеристики
1.4. Метод $I(z)$ -спектроскопии	Измеряет туннельный ток в зависимости от расстояния зон-образец в каждой точке СТМ изображения
1.5. Метод $I(v)$ -спектроскопии (or Current Imaging Tunneling Spectroscopy, CITS)	Предполагает одновременное получение обычного изображения рельефа при фиксированных значениях тока I_0 и напряжения смещения V_0
2. Контактная сканирующая атомно-силовая микроскопия (КАСМ)	
2.1. Метод постоянной силы (Constant Force mode)	Измерение рельефа поверхности при сканировании образца зондом, находясь с ним в непосредственном контакте, при этом система обратной связи поддерживает постоянной силу прижима зонда к поверхности
2.2. Метод постоянной высоты (Constant Height mode)	Измерение рельефа поверхности при сканировании образца зондом, находящимся с ним в непосредственном контакте, при этом система обратной связи разомкнута и z-координата сканера поддерживается постоянной
2.3. Контактный метод рассогласования (Contact Error mode)	Отображение сигнала рассогласования на входе системы обратной связи в процессе реализации метода постоянной силы, обеспечивает подчеркивание малоразмерных деталей рельефа поверхности
2.4. Микроскопия латеральных сил (Lateral Force Microscopy)	Отображение распределения локальной силы трения по поверхности образца
2.5. Метод модуляции силы (Force Modulation mode)	Отображение распределения локальной упругости по поверхности образца
2.6. Отображение силы растекания (Spreading Resistance Imaging)	Отображение распределения локальной проводимости образца

Наименование	Общие характеристики
2.7. Контактная электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Contact EFM)	Отображение распределения электрического потенциала по поверхности образца, характеризуется повышенным разрешением
2.8. Атомно-силовая акустическая микроскопия (АСАМ) (Atomic-force acoustic microscopy, AFAM)	Отображение распределения локальной упругости по поверхности образца
2.9. АСАМ резонансная спектроскопия (AFAM Resonance Spectroscopy)	Отображение распределения локальной упругости по поверхности образца с возможностью получения количественных данных по распределению приведенного модуля Юнга
3. Прерывисто-контактная сканирующая силовая микроскопия	
3.1. Прерывисто-контактный метод	Измерение рельефа поверхности с использованием колеблющегося с резонансной частотой зонда. В процессе сканирования острие зонда в нижней точке колебаний слегка касается поверхности образца
3.2. Прерывисто-контактный метод рассогласования (Semicontact Error mode)	Отображение сигнала рассогласования на входе системы обратной связи в процессе реализации прерывисто-контактного метода, обеспечивает подчеркивание малоразмерных деталей рельефа поверхности
3.3. Метод отображения фазы (Phase Imaging mode)	Отображение особенностей рельефа, поверхностной адгезии и вязкоупругости, определяющих фазовую задержку колебаний зонда
4. Бесконтактная атомно-силовая микроскопия (Non Contact AFM)	
4.1. Бесконтактный метод АСМ (Non-Contact mode)	Измерение рельефа поверхности с использованием колеблющегося с резонансной частотой зонда. В процессе сканирования острие зонда не касается поверхности образца, а обратная связь поддерживает постоянную амплитуду колебания зонда

Наименование	Общие характеристики
5. Многопроходные методики (Many-pass techniques)	
5.1. Статическая магнитно-силовая микроскопия (СМСМ) (DC Magnetic Force Microscopy, DC MFM)	Отображает распределение магнитной структуры поверхности, связанной с локальными различиями распределения первой производной магнитного поля
5.2. Динамическая магнитно-силовая микроскопия (ДМСМ) (AC Magnetic Force Microscopy, AC MFM)	Отображение распределения магнитной структуры поверхности, связанной с локальными различиями распределения второй производной магнитного поля
5.3. Электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) (Electrostatic Force Microscopy, EFM)	Отображает распределение электрического потенциала по поверхности образца
5.4. Метод зонда Кельвина (Kelvin Probe Microscopy)	Измерение распределения электрического потенциала по поверхности образца
5.5. Сканирующая емкостная микроскопия (СЭМ) (Scanning Capacitance Microscopy, SCM)	Отображение распределения локальной поверхностной электрической емкости в системе проводящий образец – проводящее острие
6. Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия (СБОМ) – это возможность изучать оптические свойства образца (его способность отражать, пропускать, рассеивать свет) с пространственным разрешением несколько десятков нанометров	

Представленные в сводной таблице методы являются базой для реализации на их основе различных средств измерений СЗМ [111].

В 1981 году Герд Бинниг и Хайнрих Ререр из лаборатории ИВМ в Цюрихе создали сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). С его помощью были получены поразившие всех изображения поверхности кремния в реальном масштабе. Человек впервые смог увидеть атомы и прикоснуться к ним [62, 124].

Развивая идеи, заложенные в СТМ, в 1986 году Герхард Бинниг, Калвин Куэйт и Кристофер Гербер создали атомно-силовой микроскоп (АСМ), благодаря которому были преодолены присущие СТМ ограничения [125]. В свою очередь АСМ стал родоначальником широкого семейства сканирующих зондовых устройств и использующих их технологий, которое продолжает увеличиваться и по сей день. В том же 1986 г. Г. Бинниг и Х. Ререр были удостоены Нобелевской премии в области физики за открытие принципа туннельной, атомно-силовой и световой сканирующей микроскопии.

Необходимо отметить, однако, что еще в 1966 г. Рассел Янг высказал предположение о возможности получения рельефа поверхности путем использования тока между поверхностью и металлической остроконечной иглой. В 1971 г. он опубликовал статью об устройстве, названном Torographiner, которое содержало все основные узлы сканирующего туннельного микроскопа.

Сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ) — таково общее название такого типа устройств — широко используются сегодня как в фундаментальной науке о поверхности, так и традиционном анализе шероховатости поверхности. Не менее эффективно применение СЗМ-технологий для построения трехмерных изображений — от атомов до микронных образований на поверхности биологических объектов.

Сканирующий зондовый микроскоп — это инструмент со множеством возможностей. С его помощью можно строить реальные трехмерные изображения с широким динамическим диапазоном, охватывающим традиционные «сферы деятельности» оптических и электронных микроскопов. Это также и профилометр с беспрецедентным разрешением. Сканирующий зондовый микроскоп может измерять такие физические свойства, как например проводимость поверхности, распределение статических зарядов, магнитных полей и модуля упругости, свойства смазочных пленок и др. [129, 140].

Изображения, получаемые с помощью СЗМ, относятся к ряду создаваемых микроскопическими методами образам, которые достаточно легко интерпретировать. В случае электронного

или оптического микроскопа принцип получения изображения базируется на сложных электромагнитных дифракционных эффектах. Поэтому иногда могут возникнуть затруднения при определении, является ли некоторый элемент микрорельефа поверхности выступом или впадиной. Напротив, СЗМ регистрирует истинно трехмерные параметры. На СЗМ-изображении выступ однозначно предстает выступом, а впадина ясно видна как впадина. На получаемых при помощи оптических или электронных микроскопов изображениях, например, плоского образца, состоящего из чередующихся отражающих и поглощающих участков, могут возникать искусственные изменения контрастности. Атомно-силовой микроскоп, в свою очередь, практически безразличен к изменениям оптических или электронных свойств и дает информацию об истинной топографии поверхности.

В настоящее время широко выпускаются СЗМ и принадлежность к ним. Среди наиболее известных фирм можно назвать «Digital Instruments», «Park Scientific Instruments», «Omicron», «Topometrix», «Burleigh» и др. Цены на СЗМ-устройства промышленного производства колеблются в широких пределах — от 40 тыс. долл. за простейший АСМ до 100–200 тыс. долл. и выше в зависимости от комплектации и спектра решаемых задач. Изготавливаются СЗМ также в России (фирмы НТ-МДТ) и Республике Беларусь (ИММС НАНБ).

Все СЗМ содержат компоненты, схематично представленные на рис. 42 [133]. В конструкции каждого сканирующего зондового микроскопа есть свои отличия. В комплекте прибора могут также присутствовать дополнительные устройства, позволяющие модифицировать базовый блок для решения специальных задач. Однако общая структура СЗМ остается более или менее одинаковой. В состав СЗМ-комплекса обычно входит компьютер, который управляет работой электромеханической части микроскопа, принимает и записывает регистрируемые зондом данные, производит на их основе построение СЗМ-изображения и, кроме того, позволяет обрабатывать полученное изображение, без чего подчас бывает трудно или вообще невозможно проанализировать наблюдаемую картину.

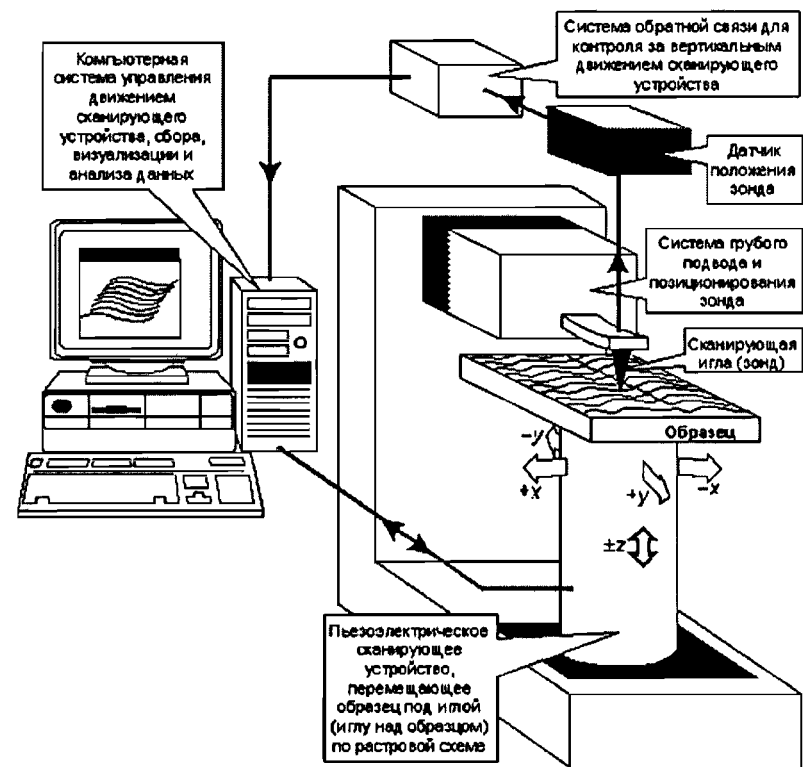


Рис. 42. Общая схема сканирующего зондового микроскопа

АСМ и СТМ являются на сегодня наиболее распространенными в практике СЗМ-технологиями. Тем не менее, большинство промышленно выпускаемых устройств обычно разработаны таким образом, что для добавления к прибору новых функций и возможностей достаточно переоснастить его основной блок, заменив отдельные небольшие части. Иногда единственным необходимым изменением является переключение из одного режима в другой непосредственно в обслуживающей компьютерной программе.

Сканирующая туннельная микроскопия — метод микроскопии, позволяющий изучать электропроводящие поверхности в соот-

ветствии с атомной шкалой. СТМ дает картину атомной схемы поверхности путем выявления неровностей в плотности электронов, которые обусловлены положением атомов.

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) исторически является предшественником всех сканирующих зондовых микроскопов. СТМ был первым устройством, давшим реальные изображения поверхностей с атомным разрешением [124, 132, 133].

В качестве зонда в СТМ используется острая проводящая игла. Между острием иглы и образцом прикладывается рабочее напряжение, и при подводе острия к образцу примерно до 0,5–1,0 нм электроны с образца начинают «туннелировать» через зазор к острию или наоборот, в зависимости от полярности рабочего напряжения (рис. 43) [124, 133]. На основании данных о токе туннелирования в СТМ проводится визуализация топографии. Чтобы происходило туннелирование, как образец, так и острие должны быть проводниками или полупроводниками. Изображений непроводящих материалов СТМ дать не может.

Остановившись на физических принципах, положенных в основу работы СТМ, отметим, что процесс туннелирования электронов происходит при перекрытии волновых функций атомов острия сканирующей иглы и поверхности. Туннельный ток между двумя металлическими телами описывается уравнением $I = I_0 \exp[-C(\phi z)^{1/2}]$. При типичной высоте потенциального барьера $\phi = 4$ эВ туннельный ток снижается на порядок, если зазор z уменьшается на 0,1 нм. Эти свойства и являются причиной того, что острие туннельного микроскопа обычно должно находиться так близко к образцу — на расстоянии 0,5–1 нм. Экспоненциальная зависимость туннельного тока от расстояния придает СТМ очень высокую чувствительность.

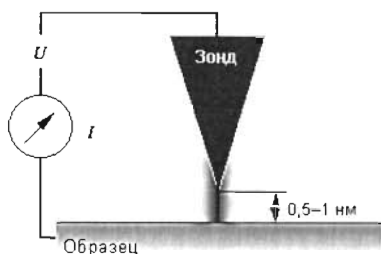


Рис. 43. Схема работы сканирующего туннельного микроскопа

Основное применение СТМ — это измерения топографии. Именно благодаря своей чрезвычайно

высокой чувствительности СТМ способен формировать изображения поверхностей с субангстремной точностью по вертикали и атомным латеральным (т. е. в горизонтальном направлении) разрешением.

Существуют два варианта конструкции СТМ в зависимости от режима сканирования образцов (рис. 44). В режиме постоянной высоты острие иглы перемещается в горизонтальной плоскости над образцом, а ток туннелирования изменяется (рис. 44, а). Исходя из данных о величинах тока туннелирования, промеренных в каждой точке сканирования поверхности образца, строится образ топографии [133].

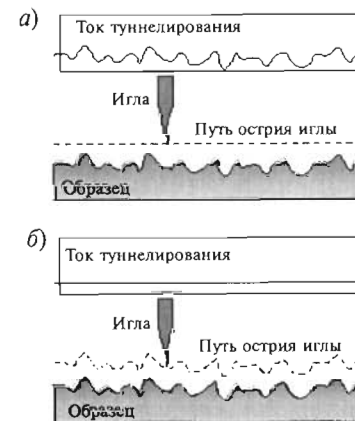


Рис. 44. Схема работы СТМ. а — в режиме постоянной высоты; б — в режиме постоянного тока

В режиме постоянного тока СТМ задействуется система обратной связи для поддержания постоянного тока туннелирования путем подстройки высоты сканирующего устройства над поверхностью в каждой точке (рис. 44, б). Например, когда система детектирует увеличение туннельного тока, то она подстраивает напряжение, прикладываемое к пьезоэлектрическому сканирующему устройству, так, чтобы отвести острие дальше от образца. В режиме постоянного тока визуализация топографии осуществляется на основании данных о величине вертикальных перемещений сканирующего устройства. Если система поддерживает ток туннелирования постоянным в пределах нескольких процентов, то расстояние между острием и образцом будет постоянным с погрешностью в несколько сотых ангстрема [132, 133].

У каждого режима есть преимущества и недостатки. Режим постоянной высоты более быстрый, так как системе не приходится передвигать сканирующее устройство вверх и вниз, но при этом можно получить полезную информацию только с относительно гладких поверхностей. В режиме постоянного тока можно с вы-

сокой точностью измерять нерегулярные поверхности, но измерения занимают больше времени.

Сканирующая туннельная спектроскопия (СТС) является наряду с измерениями топографии другой важной областью приложения СТМ. В первом приближении образ, составленный из значений тока туннелирования, отражает топографию поверхности образца. Если же говорить более точно, туннельный ток соответствует электронной плотности состояний поверхности. В действительности СТМ регистрирует количество заполненных или незаполненных электронных состояний вблизи поверхности Ферми в диапазоне значений энергии, определяемом прикладываемым рабочим напряжением. Можно сказать, что СТМ измеряет скорее не физическую топографию, а поверхность постоянной вероятности туннелирования [62, 133].

Чувствительность СТМ к местной электронной структуре может вызвать затруднения, если необходимо картографировать топографию (т. е. получить изображение топографии). Например, если какой-то участок образца окислен, то, когда острие сканирующей иглы попадет на него, туннельный ток резко уменьшится. СТМ, работающий в режиме постоянного тока, даст команду острию приблизиться к поверхности, чтобы поддержать установленную величину тока туннелирования. В результате острие может углубиться в поверхность. В то же время, чувствительность СТМ к электронной структуре может быть огромным преимуществом. Более традиционные спектроскопические методы, такие как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия или инверсная фотоэмиссионная спектроскопия, детектируют и усредняют данные, исходящие с относительно большой площади размерами от нескольких микрон до нескольких миллиметров в поперечнике. СТМ, наоборот, может получать спектры с площадей, сравнимых по размерам с отдельными атомами.

Электронная структура атома зависит от его разновидности (является ли он, к примеру, атомом кремния или атомом углерода), а также от его местного химического окружения (сколько вокруг него атомов, какого они типа и как симметрично распределе-

ны). Исследование зависимости сигнала СТМ от местной электронной структуры поверхности известно как сканирующая туннельная спектроскопия.

СТС охватывает ряд методов: получение «топографических» (в режиме постоянного тока) изображений с использованием различных рабочих напряжений и сравнение их; получение «токовых изображений» (в режиме постоянной высоты) при различных зазорах; варьирование рабочего напряжения при позиционировании острия над интересующим элементом топографии с одновременной регистрацией тока туннелирования.

В последнем случае получают вольт-амперные характеристики электронной структуры в данной точке. Можно настроить СТМ для снятия вольт-амперных кривых в каждой точке сканирования, создавая, таким образом, трехмерную карту электронной структуры. Используя синхронизированный усилитель, можно непосредственно получать кривые зависимостей dI/dU (проводимость) или dI/dz (рабочая функция — изменение тока при изменении зазора) от напряжения U . Все это методы зондирования местной электронной структуры поверхности с применением СТМ.

Атомно-силовая микроскопия (АСМ), или сканирующая силовая микроскопия (ССМ), была изобретена в 1986 г. Биннигом, Кватом и Гербером. Как и любая сканирующая микроскопия, АСМ использует датчик большой резкости, перемещающийся по поверхности образца в растровой разверстке.

Атомно-силовые микроскопы (АСМ) появились как развитие СТМ-технологии, однако заложенные в них совершенно иные принципы позволяют исследовать поверхности любых материалов — проводящих, полупроводников, а также изоляторов, т. е. непроводящих электрический ток [62, 125, 133, 142]. АСМ зондируют поверхность образца острой иглой длиной 1–2 мкм и диаметром обычно не более 10 нм. Игла устанавливается на свободном конце измерительной консоли.

Основной принцип работы АСМ заключается в воздействии сил со стороны поверхности образца на острие сканирующей иглы. Силы, которые чаще всего ассоциируются с АСМ, — это межатомные силы, называемая также ван-дер-ваальсовы.

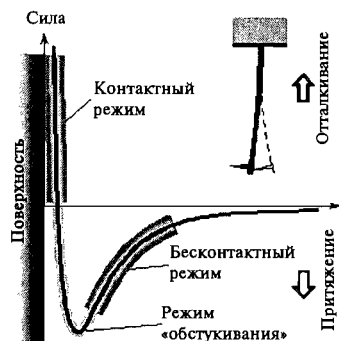


Рис. 45. Зависимость силы межатомного взаимодействия от расстояния между острием и образцом

На рис. 45 схематически представлена кривая зависимости междутомной силы от расстояния между острием иглы и образцом. Правая часть кривой характеризует ситуацию, когда атомы острия и поверхности разделены большим расстоянием. По мере постепенного сближения они будут сначала слабо, а затем все сильнее притягиваться друг к другу. Сила притяжения будет возрастать до тех пор, пока атомы не сблизятся настолько, что их электронные облака начнут отталкиваться электростатически. При дальнейшем

уменьшении межатомного расстояния электростатическое отталкивание экспоненциально ослабляет силу притяжения. Эти силы уравниваются при расстоянии между атомами порядка двух ангстрем, что приблизительно составляет длину химической связи. Когда суммарная межатомная сила становится положительной (отталкивающей), то это означает, что атомы вступили в контакт.

В отношении контакта между острием сканирующей иглы и поверхностью исследуемого образца работа атомно-силового микроскопа обычно проходит в одном из режимов, соответствующим обозначенным на рис. 45 участкам кривой межатомного взаимодействия. Это контактный и бесконтактный режимы, сочетание которых дает так называемый режим «обстукивания» [133, 136].

При контактном режиме, известном иначе как режим отталкивания, острие сканирующей иглы АСМ приходит в мягкий «физический контакт» с образцом. Измерительная консоль, на свободном конце которой расположена игла, обычно характеризуется низкой константой упругости, величина которой должна быть меньше, чем эффективная константа упругости, удерживающая атомы образца вместе.

Наклон кривой на графике межатомных сил в области отталкивания, или контакта, очень крутой (рис. 45). Вследствие этого

отталкивающая сила уравнивает практически любую силу, которая пытается сблизить атомы друг с другом. Для АСМ это означает, что если измерительная консоль прижимает острие иглы к поверхности, то консоль скорее изогнется, чем ей удастся приблизить острие к атомам образца. Даже если изготовить очень жесткую консоль, чтобы приложить огромную силу к образцу, межатомное расстояние между острием и атомами образца уменьшится ненамного. Вероятнее всего деформируется поверхность образца.

Для контактного АСМ отталкивающая межатомная сила должна быть уравновешена другими усилиями. Это происходит благодаря наличию двух сил — капиллярной и консольной.

Капиллярная сила — это воздействие на острие сканирующей иглы со стороны тонкого слоя влаги, обычно присутствующего на поверхностях, находящихся в обычной среде. Капиллярная сила возникает, когда адсорбированная на поверхности влага приподнимается вокруг острия (рис. 46). Оказываемое на острие сильное притягивающее воздействие (около 10^{-8} Н) удерживает его в контакте с поверхностью. Величина капиллярной силы зависит от расстояния между острием и образцом.

Ввиду того, что острие находится в контакте с образцом, капиллярная сила должна быть постоянной, поскольку расстояние между острием и образцом фактически не изменяется. Другое условие, позволяющее считать капиллярную силу постоянной, это предположение о достаточной однородности слоя влаги.

Воздействие со стороны самой измерительной консоли подобно усилию в сжатой пружине. Величина и знак (отталкивающая или притягивающая) «консольной» силы зависит от отклонения консоли и ее константы упругости. Сила, прилагаемая измерительной консолью контактного АСМ, в отличие от капиллярной является переменной.

Общее усилие, прикладываемое со стороны острия сканирующей иглы к образцу, это сумма капиллярной и консольной сил. Величина суммарной



Рис. 46. Схема возникновения капиллярной силы

силы варьируется от 10^{-8} Н (когда измерительная консоль отводится от образца почти с таким же усилием, как вода притягивает острие к его поверхности) до более типичного рабочего диапазона в пределах 10^{-7} – 10^{-6} Н.

В бесконтактном режиме, также известном как режим притяжения, АСМ отслеживает притягивающие ван-дер-ваальсовы силы между острием сканирующей иглы и образцом. Зазор между острием и образцом обычно составляет 5–10 нм. На таком расстоянии электронные орбитали атомов острия сканирующей иглы начинают синхронизироваться с электронными орбиталями атомов образца. В результате возникает слабое притяжение, потому что в любой момент времени атомы острия и образца поляризованы в одном и том же направлении. В свободном пространстве эти атомы будут сближаться до тех пор, пока сильное электростатическое отталкивание, описанное выше, не станет преобладающим. Чаще всего бесконтактные АСМ конструируются для работы в динамическом режиме.

В бесконтактном режиме работы АСМ суммарная сила между острием и образцом небольшая — обычно $\sim 10^{-12}$ Н. Эта малая сила является преимуществом при исследовании мягких и упругих образцов. Еще одно преимущество заключается в том, что такие образцы, как, например, кремниевые подложки не загрязняются при контакте с острием.

При исследовании жестких образцов изображения, полученные в контактном и бесконтактном режимах, могут выглядеть одинаково. Однако если на поверхности жесткого образца лежат, к примеру, несколько монослоев конденсированной влаги, то эти изображения могут значительно различаться. АСМ, работающий в контакте, будет проникать через слой жидкости, отображая нижележащую поверхность, тогда как бесконтактный АСМ будет давать изображение поверхности слоя влаги (рис. 47).

В отношении возбуждения вынужденных колебаний измерительной консоли АСМ различают два режима — статический и динамический. Если в измерительной консоли АСМ модулируют колебания, то такой режим называют динамическим, в противном случае — статическим.

В статическом режиме силы взаимодействия между острием иглы и поверхностью образца вызывают отклонение измерительной консоли, изгибая ее до достижения статического равновесия. В процессе сканирования образца (при движении острия над неподвижным образцом или образца под неподвижным острием) АСМ детектирует отклонения консоли, формируя набор данных о топографии одним из двух способов. В первом, называемом режимом постоянной высоты (его другое название — режим переменного отклонения), данные об изменениях положения консоли в пространстве могут быть непосредственно использованы для формирования образа топографии. Под постоянной высотой здесь подразумевается неизменность расстояния между зондирующим узлом и образцом. Режим постоянной высоты часто используется для получения изображений атомно-плоских поверхностей в атомном масштабе, где отклонения консоли и, следовательно, изменения прикладываемой силы всегда будут малыми. Режим постоянной высоты также важен для визуализации в реальном масштабе времени изменяющихся поверхностей, когда нельзя пренебречь высокой скоростью сканирования. Аналогичный метод построения изображений с таким же названием существует и у СТМ.

В другом методе, который называют режимом постоянной силы, отклонение измерительной консоли используется в качестве входного параметра для системы обратной связи, которая поддерживает величину этого отклонения постоянной. В данном случае сканирующее устройство передвигается вверх и вниз по оси Z в соответствии с текущими условиями микрорельефа поверхности образца, и на основании данных об этих перемещениях формируется изобра-

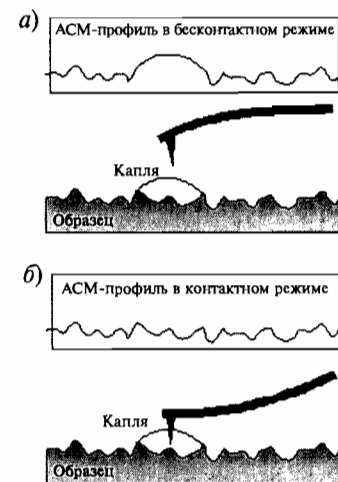


Рис. 47. АСМ-профили при наличии на поверхности влаги.
а — в бесконтактном;
б — контактном режиме

Режимы работы атомно-силового микроскопа

		Статический	Динамический
Контактный	Преимущества	Высокое латеральное разрешение. Возможность определять деформацию в системе острие – поверхность	Возможность определять площадь контакта или модуль упругости. Высокое силовое разрешение (~0.001 нН). Незначительный температурный дрейф
	Недостатки	Возможно повреждение поверхности. Низкое силовое разрешение (~1 нН). Подверженность температурному дрейфу	Возможно повреждение поверхности. Модуляция нарушает адгезионное взаимодействие между острием и поверхностью
Бесконтактный	Преимущества	Работа без повреждения поверхности	Работа без повреждения поверхности. Высокое силовое разрешение. Незначительный температурный дрейф
	Недостатки	Низкое силовое и пространственное разрешение. Подверженность температурному дрейфу	Низкое пространственное разрешение (~10 нм)

Качество результатов, которые можно получить на бесконтактном АСМ, в значительной мере зависит от использования качественной измерительной консоли и сканирующей иглы. Измерительная консоль для бесконтактного режима, как отмечалось, должна быть значительно жестче, чем консоль для контактного АСМ, чтобы в процессе своих осцилляций (колебаний) она случайно не коснулась поверхности.

Режим «обстукивания» по сути является реализацией контактного АСМ в динамическом режиме, образ действия которого

жение топографии. Режим постоянной силы обычно наиболее предпочтителен в большинстве приложений: хотя скорость сканирования здесь ограничена скоростью реакции системы обратной связи, но общее воздействие, оказываемое на образец острием сканирующей иглы, хорошо контролируется. Действительно, при поддержании постоянного отклонения консоли суммарная сила, прикладываемая к образцу, остается постоянной. Изображения, полученные в режиме постоянной силы, обычно достаточно легко интерпретировать как образы топографии.

В процессе сканирования образца в динамическом режиме система обратной связи АСМ передвигает сканирующее устройство вверх и вниз, сохраняя либо амплитуду, либо резонансную частоту измерительной консоли постоянной, что позволяет поддерживать постоянным и среднее расстояние между острием и образцом. Как и при работе в статическом режиме постоянной силы, данные о передвижениях сканирующего устройства используются для визуализации топографии. При таком методе измеряется и визуализируется поверхность постоянного градиента сил. В качестве альтернативного метода можно получать образы поверхности переменного градиента сил, для чего необходимо просто отключить систему обратной связи. Подобно статическому режиму эти два метода обеспечивают, соответственно, легкость восприятия АСМ-изображения и высокую скорость сканирования. Чувствительность схемы детектирования в динамическом режиме обеспечивает субангстремное вертикальное разрешение на изображениях.

Для получения изображений поверхности образца можно использовать не только данные о перемещении сканирующего устройства (так называемой «запись по высоте»), но и об изменении в процессе сканирования амплитуды или частоты колебаний консоли. В случае «записи по амплитуде» или «по частоте» появляется возможность визуализировать распределение механических свойств по поверхности образца, что дает не менее ценную информацию, чем данные о его топографии.

В табл. 13 дается сравнение основных режимов работы АСМ в их различных комбинациях [159].

подобен бесконтактному. В режиме «обстукивания» измерительная консоль колеблется на своей резонансной частоте с высокой амплитудой порядка 100 нм. При каждом колебании острие касается образца в своей нижней точке (отсюда термин режим «обстукивания»). При работе в режиме «обстукивания» повреждение образца менее вероятно, чем в контактном, поскольку в процессе перехода к каждой последующей точке сканирования устраняются боковые (латеральные) силы (трение или протягивание) между образцом и острием. Однако вертикальные силы в режиме «обстукивания» должны быть значительно выше, чем капиллярная сила (10^{-8} Н), для того чтобы дать острию сканирующей иглы возможность проникать внутрь и выходить из водного слоя без задержки. Эта вертикальная сила достаточно велика, чтобы деформировать поверхность мягких и упругих материалов. Поэтому изображения, полученные в режиме «обстукивания», часто представляют собой смесь топографии и упругих свойств поверхности образца [70].

Латерально-силовой микроскоп (ЛСМ) — это контактный АСМ, отображающий латеральные (т. е. боковые) отклонения измерительной консоли (закручивание), которые возникают в ней в плоскости параллельной поверхности образца. С помощью ЛСМ возможна визуализация изменений поверхностного трения, являющихся результатом неомогенности материала поверхности, а также для получения контрастных изображений любых поверхностей [5].

С созданием ЛСМ связано возникновение такой области исследований, как **нанотрибология**: эта технология предоставляет исключительную возможность исследовать процессы трения и изнашивания на молекулярном уровне при взаимодействии как отдельных выступов микрорельефа, так и отдельных атомов или молекул.

Как показано на рис. 48, латеральные отклонения консоли обычно возникают по двум причинам: изменение наклона поверхности и изменение ее фрикционных параметров (коэффициента трения). В первом случае консоль может закручиваться, когда ей попадает постепенный наклон. Во втором случае сканирующая

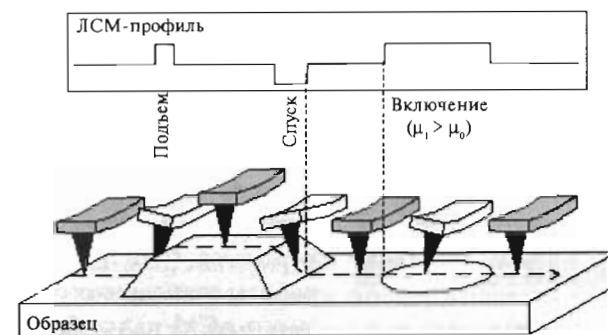


Рис. 48. Элементы ЛСМ-профиля образца, отражающие прохождение сканирующей иглой участков с измененным наклоном поверхности и с отличающимся коэффициентом трения μ_1

игла, пересекая некоторый участок, может испытать большее трение, вызывая тем самым и большее закручивание измерительной консоли. Чтобы разделить эти два эффекта, ЛСМ должен «уметь» одновременно считывать данные о латеральном и вертикальном отклонениях (т. е. визуализировать топографию).

Разновидностью АСМ является **магнитно-силовая микроскопия (МСМ)**, которая позволяет получить информацию по магнитным доменам в пределах образца.

Магнитно-силовой микроскоп (МСМ) отображает пространственные вариации магнитных сил на поверхности образца. Особенностью конструкции МСМ является то, что острие сканирующей иглы покрывается тонкой ферромагнитной пленкой (рис. 49). МСМ работает в бесконтактном режиме и детектирует изменения в резонансной частоте измерительной консоли, обусловленные изменениями магнитного поля в зазоре между острием сканирующей иглы и образцом. МСМ может визуализировать естественно встречающиеся и свободно записанные доменные структуры в магнитных материалах [5, 7].

Изображения, полученные с помощью МСМ, содержат информацию как о топографии, так и о магнитных свойствах поверхности. Какая информация преобладает на изображении, зависит

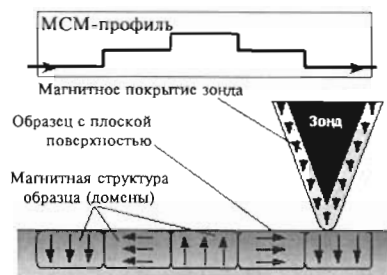


Рис. 49. Схема работы магнитно-силового микроскопа

от величины расстояния между острием и поверхностью, потому что межатомная магнитная сила существует при больших зазорах, чем это наблюдается для ван-дер-ваальсовой силы. Если острие находится близко к поверхности (< 10 нм), то в режиме работы стандартного бесконтактного АСМ на изображении будет отражена преимущественно топография. При увеличении зазора между острием и образцом (примерно до 30–300 нм) влияние топографии снижается, и становятся видны магнитные эффекты. Анализируя ряд изображений, полученных при различной высоте острия над поверхностью, можно успешно отделить магнитные эффекты от влияния топографии. Подобное поведение характерно также и для электростатических сил.

В **электростатическом силовом микроскопе** (ЭСМ) напряжение прикладывается между острием и образцом, в то время как измерительная консоль движется над поверхностью, не касаясь ее. Консоль отклоняется, когда попадает на статически заряженные области (рис. 50). Величина этого отклонения пропорциональна плотности заряда и может быть измерена стандартной системой. ЭСМ применяется для исследования распределения поверхностной плотности носителей заряда [5].

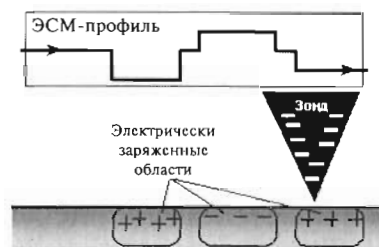


Рис. 50. Картографирование электростатических полей с помощью ЭСМ

Методы микроскопии поверхностных свойств используют возможность отслеживания и регистрации амплитуды и частоты колебаний зонды (измерительной консоли) в процессе сканирования. Устройства, реализующие такие методики, представляют

собой АСМ, в конструкции которого предусмотрена возможность модуляции вынужденных колебаний в зонде или образце. Эти методы обычно позволяют одновременно с получением изображений топографии также регистрировать изменения механических свойств поверхности образца [5, 6, 12].

На рис. 51, а представлен вариант, когда АСМ работает в контактном режиме, и в измерительной консоли возбуждаются колебания с постоянной амплитудой A . С помощью системы обратной связи отклонение консоли поддерживается постоянным; частота ее колебаний изменяется в соответствии с жесткостью сканируемого участка поверхности. Таким образом можно, например, выявлять разнородные включения в материале поверхности.

Аналогично, при поддержании постоянной частоты колебаний консоли и регистрации изменений их амплитуды возможна визуализация распределения вязких характеристик поверхности. При этом на более вязких участках амплитуда будет меньше.

Механические свойства поверхности можно исследовать также путем построения ее фазового образа (рис. 51, б). Для этого необходим АСМ, работающий в динамическом режиме. Как и в предыдущих случаях, в измерительной консоли или образце модулируются вынужденные колебания. Система при этом сравнивает реальную частоту колебаний консоли с частотой сигнала,

а) — при отслеживании частоты колебаний зонды (частота увеличивается на более жестких участках); б) — при записи разности фаз частоты сигнала, прикладываемого для возбуждения колебаний, и частоты колебаний зонды (построение фазового образа)

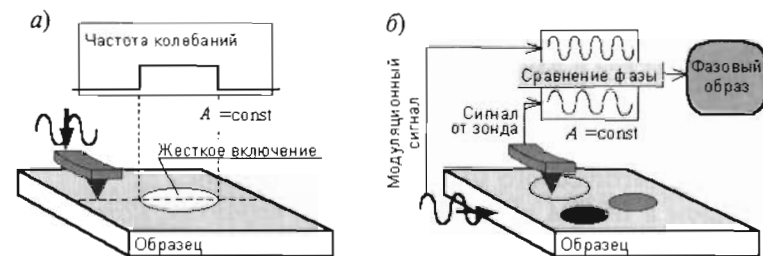


Рис. 51. Визуализация механических свойств поверхности. а — при отслеживании частоты колебаний зонды (частота увеличивается на более жестких участках); б — при записи разности фаз частоты сигнала, прикладываемого для возбуждения колебаний, и частоты колебаний зонды (построение фазового образа)

прикладываемого для возбуждения колебаний. Изменения в сдвиге фаз между этими двумя сигналами будет отражать изменения механических свойств поверхности образца.

С помощью *сканирующей термальной микроскопии* (СТерМ) можно визуализировать локальные вариации теплофизических параметров поверхностей [5]. Данная методика реализуется за счет использования терморезистивного зонда, работающего в одном из двух режимов — постоянного тока или постоянной температуры.

В первом случае электрическое сопротивление термочувствительного зонда изменяется вместе с изменением температуры в данной точке сканирования. Это регистрируется путем измерения падения напряжения при пропускании через зонд слабого постоянного тока, исключаяющего, однако, его нагрев. При такой схеме работы картографируются температурные поля на сканируемой поверхности.

В режиме постоянной температуры отслеживается тепловой поток от зонда к образцу при поддержании постоянной температуры зонда, что позволяет визуализировать локальные изменения теплопроводности поверхности образца. Набор данных составляется из значений напряжения, прикладываемого к зонду для его обогрева и изменяющегося в каждой точке сканирования в зависимости от теплопроводности материала образца.

Близкопольная сканирующая оптическая микроскопия (БСОМ) является особой разновидностью сканирующей зондовой технологии, в которой используется видимый свет [5]. Другое название этой методики — сканирующая световая микроскопия. Традиционно разрешение оптических микроскопов ограничено длиной волны света — примерно половиной микрона. БСОМ улучшает разрешение оптического микроскопа на порядок.

Зондом в БСОМ является «световая воронка», которой сканируют образец. Видимый свет исходит из узкого конца световой воронки диаметром 10–30 нм и попадает на детектор либо после отражения от образца, либо пройдя сквозь него. Интенсивность оптического сигнала регистрируется детектором в каждой точке измерений, а набор данных, считанных со всей сканируемой поверхности, составляет БСОМ-образ. С помощью БСОМ можно

формировать изображение поверхности в видимом свете с разрешением около 15 нм при условии, что расстояние между источником света и образцом очень мало ~ 5 нм.

Световая воронка и система поддержания постоянного расстояния между источником света и образцом — это две достаточно «тонкие» части БСОМ. Обычно световая воронка изготавливается нагреванием оптического волокна, протяжкой его до малого диаметра с проследующим скалыванием с одного конца. После этого на волокно для лучшей светопроводимости наносят слой металла (металлизируют). Другой способ изготовления световой воронки предусматривает высверливание небольшого отверстия в острие пустотелой сканирующей иглы АСМ и направление внутрь ее света. Разработка эффективной световой воронки в настоящее время является областью активных исследований.

БСОМ должен поддерживать расстояние между острием сканирующей иглы и образцом постоянным, чтобы получить простое оптическое изображение поверхности. Для этого могут быть использованы традиционные для АСМ методики поддержания постоянного отклонения измерительной консоли.

Одной из эффективных СЗМ-технологий является *нанолитография*. Обычно СЗМ применяются для формирования изображения поверхности без ее повреждения. Однако АСМ или СТМ могут быть использованы для направленной модификации поверхности путем приложения либо повышенной нагрузки в случае АСМ, либо повышенных пульсаций тока в случае СТМ. Эта технология известна как нанолитография. Большинство СТМ могут быть использованы и для нанолитографии, если они содержат устройства для генерации повышенных пульсаций тока. В случае АСМ необходимо, чтобы он имел возможность работать в контактном режиме. Кроме того, необходимым условием является контролируемое перемещение острия зонда по схеме, задаваемой оператором.

В заключение, комментируя возможность элементного распознавания атомов, необходимо отметить, что в настоящее время никакая технология СЗМ не может позволить определить тип атома или молекулы при отсутствии другой информации. Тем не менее,

с помощью СЗМ можно проводить ограниченную идентификацию материалов. Выше уже обсуждалось использование для этих целей данных об электронной структуре. Кроме того, сегодня реальностью является картографирование жесткости и вязкости поверхностей с использованием модуляционных силовых методов. С помощью ЛСМ можно также попытаться идентифицировать материалы, основываясь на различиях в их фрикционных свойствах. Например, сила трения острия сканирующей иглы по полимерной матрице и материалу заключенного в ней наполнителя будет различной. Чтобы классифицировать материалы, взяв за критерий упругие свойства, необходимо снимать кривые подвода/отвода на элементах АСМ-изображения. Наконец, притягивающее ван-дер-ваальсово взаимодействие, используемое в бесконтактном АСМ, может оказаться чувствительным к типам атомов — ведь пределы чувствительности материалов не изучены пока что достаточно глубоко.

Спектроскопия

Спектроскопия — один из основных методов исследования наночастиц. Применяют различные методы спектроскопии, в том числе оже-спектроскопия, фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия, раман-спектроскопия, фотолюминисцентная и электролюминесцентная спектроскопия, дифракция медленных электронов и др.

Метод спектроскопии Оже основан на эффекте, открытом в 1925 году французским физиком Пьером Оже в инертных газах. Суть этого явления в том, что если на одном из внутренних уровней энергии атома по каким-то причинам создается вакансия — дырка, то она быстро заполняется другим электроном атома, а лишняя, выделяющаяся при этом энергия передается еще одному электрону, который и «выстреливается» из атома (оже-электрон). Энергия этих электронов определяется природой испускающих их атомов, а число электронов пропорционально количеству таких атомов. Поэтому оже-спектроскопия позволяет проводить одновременно качественный и количественный анализ исследу-

емого вещества. Оже-электроны имеют энергию, которой едва хватает для прохождения нескольких ангстрем твердого вещества. Следовательно, они несут информацию именно о приповерхностных слоях кристалла.

Первичную вакансию в поверхностных атомах можно создать электронным, фотонным и ионным пучками. Соответственно различают электронную, фотонную и ионную оже-спектроскопии поверхности: ЭОС, ФОС и ИОС, первая из которых получила наибольшее распространение. Достигнутая сейчас чувствительность этого метода позволяет регистрировать, например, адсорбированные на поверхности атомы в количествах, не превышающих доли процента от общего числа поверхностных атомов.

Дифракция медленных электронов основана на фундаментальном свойстве материи — волновом характере движения частиц. Этот метод служит аналогом рентгеноструктурного анализа, применяемого для исследования кристаллической структуры в объеме вещества.

При дифракции на кристалле электроны малых энергий способны проникать лишь в поверхностные слои, и поэтому дифракция таких электронов на регулярно расположенных атомах предоставляет сведения о структуре поверхности. Это помогает использовать дифракцию медленных электронов как чувствительный метод наблюдения поверхностных структурных превращений.

В последнее время все большую популярность приобретают комбинированные методы исследования поверхности. Например, электронная оже-спектроскопия образца производится практически одновременно с рассеянием на нем медленных электронов, а также ионов, атомов и рентгеновских лучей. Поэтому вакуумная камера, в которую помещается образец, обычно имеет множество вводов и позволяет использовать сразу несколько зондирующих агентов. Разумеется, такой всеобъемлющий анализ поверхности был бы невозможен без современных методов автоматизации эксперимента. Так компьютерная техника помогает исследованию структур, необходимых для ее же создания.

Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия (ФРС)

Фотоэлектронная рентгеновская спектроскопия была разработана в середине 1960-х К.Сигбаном (К. Siegbahn) и его помощниками. Ему была присуждена Нобелевская премия в области физики в 1981 году за это изобретение. ФРС — это поверхностный чувствительный метод, который требует присутствие среды со сверхвысоким вакуумом. Рентгеновские лучи используются для выбивания электронов атома из внутренней оболочки, и излучаемые электроны анализируются в соответствии с их кинетическими энергиями. Метод в настоящее время является наиболее широко распространенным методом поверхностного анализа. Он предоставляет информацию об атомном составе поверхности всех элементов, за исключением водорода и гелия. ФРС поэтому является ключевым методом исследований наноструктурированных материалов, в которых нано-эффекты связаны с поверхностной активностью.

ФРС-установка состоит (рис. 52) прежде всего из источника рентгеновского излучения, анализатора электронов и детектора электронов, однако, также обычно включается ионная пушка для глубинного профилирования. На рисунке показана ФРС-установка.

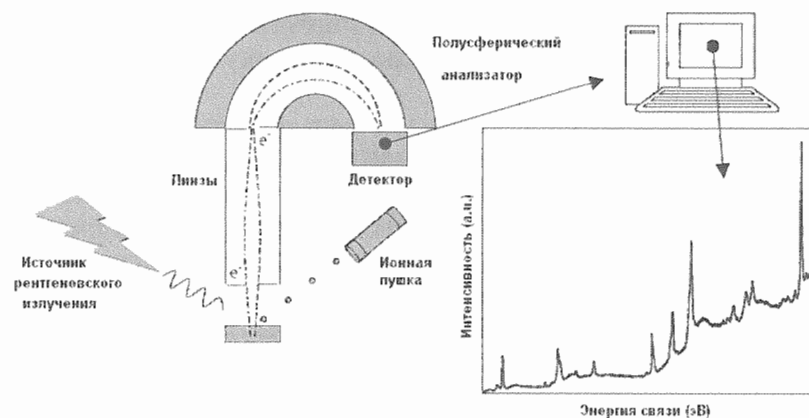


Рис. 52. Схема измерительной ФРС-установки

ФРС — это самый широко распространенный поверхностный чувствительный метод. Он дает информацию об атомной концентрации и химической среде видов на поверхности. Метод очень полезен в нанотехнологии, поскольку уменьшение размеров повышает важность поверхности. Тонкие пленки могут быть исследованы при помощи ФРС с высокой точностью. Это также важный метод для исследований поверхности нанопорошков.

Раман-спектроскопия

Когда свет рассеивается от молекулы, большая часть фотонов рассеивается эластично, это называется релеевское рассеяние. Однако небольшая часть фотонов (приблизительно 1 из 10^7 фотонов) подвергается неэластичному рассеянию вследствие изменения в элементных возбуждениях зондируемого материала. Процесс, который ведет к такому неэластичному рассеянию, называется эффектом Рамана после того, как он был открыт индийским физиком С.В. Раманом (С. V. Raman) в 1928. [25]. Рассеяние Рамана может произойти с изменением вибрационной энергии молекулы. Другими словами, это может вызвать создание (стоуковский процесс) или аннигиляцию (антистоуковский процесс) фотона. Популяция фотонов в возбужденном состоянии является функцией от температуры. Поэтому интенсивность сдвига Рамана, который происходит вследствие антистоуковского процесса, всегда слабее, чем та, которая происходит вследствие стоуковского процесса (рис. 53).

Повторяемость события Рамана проста и происходит приблизительно через 10^{-14} с или меньше. Однако теория рассеяния Рамана далека от элементарной.

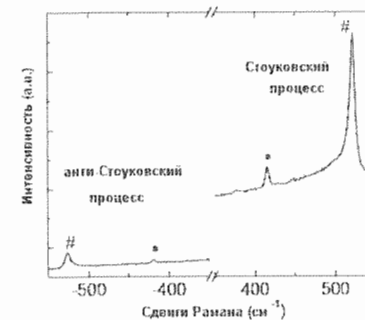


Рис. 53. Разница между стоуковским и антистоуковским сдвигами спектра Рамана при комнатной температуре («*» показывает пик силикона, а «#» показывает пик Al_2O_3)

Для должного объяснения феномена требуются как групповая теория, так и теория возмущения высокого порядка. Тогда как в классической физике взаимодействие может рассматриваться как возмущение электронного поля молекулы, в квантовой механике рассеяние описывается как возбуждение до виртуального состояния с более низкой энергией, чем реальный электронный переход с практически совпадающим девозбуждением и изменением вибрационной энергии. Репрезентативная схема диапазона энергии рассеяния Рамана приведена на рис. 54.

Разница в энергии между падающим фотоном и фотоном рассеяния Рамана равна энергии вибрации рассеянной молекулы, которая является характеристической для различных молекул. График интенсивности рассеянного света в зависимости от разницы энергии между падающим и рассеянным фотоном является спектром Рамана. В числовом выражении, сдвиг Рамана (в см^{-1}) может быть рассчитан при помощи уравнения (1).

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda_{\text{incident}}} - \frac{1}{\lambda_{\text{scattered}}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{incident}}$ (падающий) и $\lambda_{\text{scattered}}$ (рассеянный) являются длиной волны (в см) падающего и рассеянного фотонов соответственно.

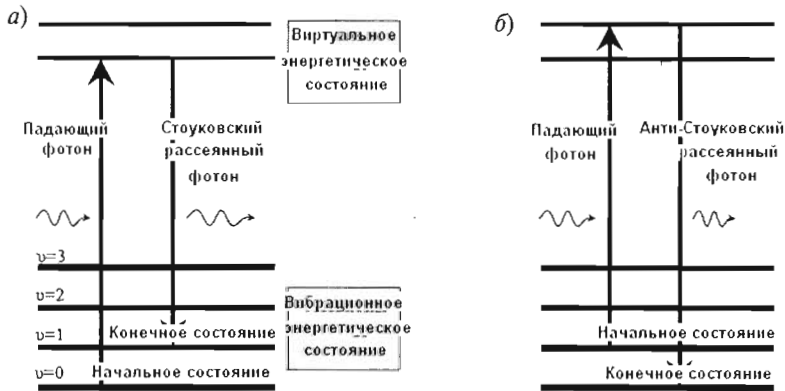


Рис. 54. Схема энергетического уровня для рассеяния Рамана. а — стоуковское рассеяние; б — антистоуковское рассеяние

Энергия и сдвиг в спектре Рамана в основном определяются молекулярными параметрами и параметрами окружающей среды, такими как атомная масса, порядок связи, молекулярные заместители и молекулярная геометрия. В качестве примера на рисунке 55 приведена разница в спектре Рамана между кристаллическим силиконом (c-Si) и аморфным силиконом (a-Si).

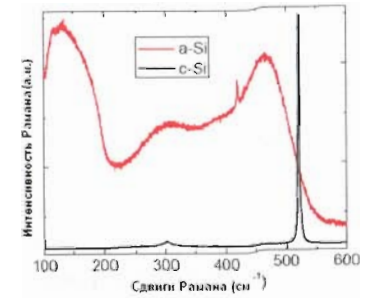


Рис. 55. Спектр Рамана аморфного силикона и кристаллического силикона

Поверхностно-усиленное рамановское рассеяние (ПУРР) и резонансно-усиленное рамановское рассеяние (РУРР) являются двумя усовершенствованными методами, которые усиливают Рамановское рассеяние на поверхности и при определенной длине волны соответственно. Метод ПУРР основан на усилении электромагнитного поля, произведенного на поверхности металла. Серебряные или золотые коллоиды широко использованы для усиления. Когда длина волны возбуждающего лазера совпадает с электронным спектром молекулы, интенсивность некоторых Раман-активных вибраций увеличивается на коэффициент 10^2 – 10^4 . Кроме того, использование методики ближнего поля позволяет использовать сканирующий оптический микроскоп ближнего поля в раман-спектроскопии.

С.В. Раман использовал фильтрованный солнечный свет в качестве монохроматного источника, цветной фильтр в качестве монохроматора и человеческий глаз в качестве детектора. Поскольку интенсивность раман-рассеянного света очень низкая, требуется высокомошнный монохроматный источник. Поэтому методика стала широко использоваться после изобретения лазера. На рис. 56 показана схема для измерения посредством раман-спектроскопии, 180 геометрия. Тогда как, He-Ne (632 нм), Ag⁺ (488 нм и 514 нм) и Nd:YAG (532 нм) лазеры широко используются в качестве монохроматного источника, имеются также и другие источники в ультра-фиолетовом, видимом и около-инфракрасном диапазоне.

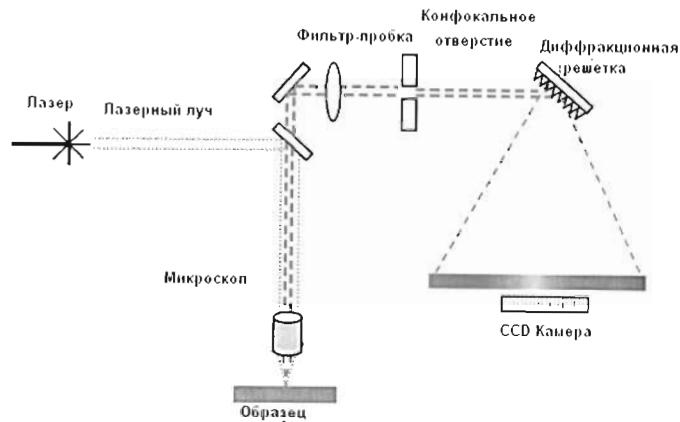


Рис. 56. Схема микрорамановского спектрометра

Источнику в системе требуется мощность вследствие низкой вероятности сходимости раман-процесса. Заряженные парные устройства, фотомножительные трубки или детекторы полупроводников широко используются для обнаружения света. При этом, заряженные парные устройства выполняют в многоканальном режиме получения изображений, что сокращает время, необходимое для считывания спектра, и поэтому представляют собой особый интерес. Раман-спектрометр может быть либо дисперсивным, либо не дисперсивным. Тогда как дисперсивные системы состоят из решетки или призмы для отделения цветов, недисперсивные системы включают интерферометр Майкельсона для этой цели, и это называется фурье-рамман-спектрометром. Дисперсивные системы с двойными/тройными монохроматорами используются в системе. Раман-спектрометр может быть усовершенствован различными оптическими элементами, такими как фильтр-пробка, конфокальное отверстие, микроскоп и поляризатор. Фильтр пробка это фильтр узкого диапазона, используемый для блокирования релеевского рассеяния (в основном, для защиты детектора). Конфокальное отверстие используется для исследования раман-отклика слоев или образцов при нормальном падении. Боковое разрешение этого метода может быть уве-

лично путем установки соответствующих линз микроскопа. Эти системы называются микро-рамман спектрометрами. Поскольку раман-феномен зависит от поляризации, поляризаторы являются одним из наиболее полезных элементов, которые могут быть использованы для блокирования некоторых сигналов и выделения других.

Фотолюминесцентная спектроскопия — мощный инструмент, который используется для исследования полупроводников, особенно тех, которые применяются для оптоэлектронных устройств. Это простой, гибкий, бесконтактный, неразрушающий метод зондирования электронных структур материалов.

Оборудование для ФЛ состоит из трех основных частей: 1) световой источник для обеспечения возбуждения; 2) дьюар для поддержания низкой температуры образцов во время оптического доступа к поверхности образца; 3) система обнаружения и регистрации для сбора и анализа фотонов, которые излучаются образцом (рис. 57).

Фотолюминесцентная спектроскопия — широко используемый, неdestructивный метод исследования полупроводниковых материалов. Благодаря большой площади поверхности по отношению к объемной доле в наночастицах также предлагается способ для лучшего изучения поверхностей наноструктур. Более того, наблюдение фиолетового смещения в положении полос показывает практическую его использования при изучении квантовых ограничений электронов в низкоразмерных системах.

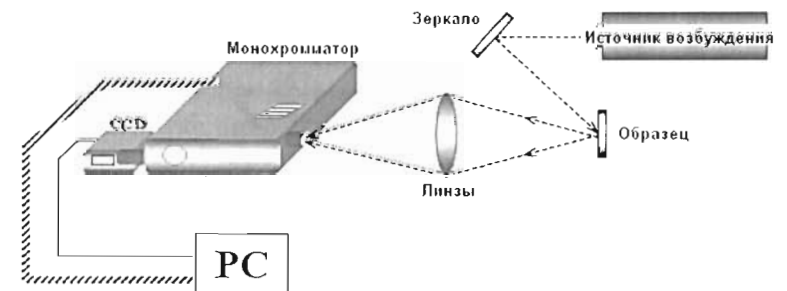


Рис. 57. Схема ФЛ-установки

Электролюминесцентная спектроскопия

Понятие электролюминесценции было введено в 1969 году Г. Дестриау, когда он обнаружил люминофоры, такие как сульфид цинка, плакированный медью или марганцем, светящийся при воздействии поля высокого напряжения (обычно 10.000 В/см).

Хотя анализ светового излучения из нанокристаллов или объемной среды в основном проводится на основе фотолуминесцентных экспериментов, большинство светоизлучающих приборов зависят от электролюминесцентных свойств веществ. Электролюминесценция может отличаться от фотолуминесценции процессом электризации. В то время как при исследовании фотолуминесценции создание и рекомбинация диад-электронных вакансий происходит посредством оптического намагничивания вещества, при измерении электролюминесценции электрическая энергия облучает носители [137].

Система измерения электролюминесценции такая же, как и фотолуминесценции с одной дополнительной электрической системой измерения, показанной на рис. 58. Система позволяет

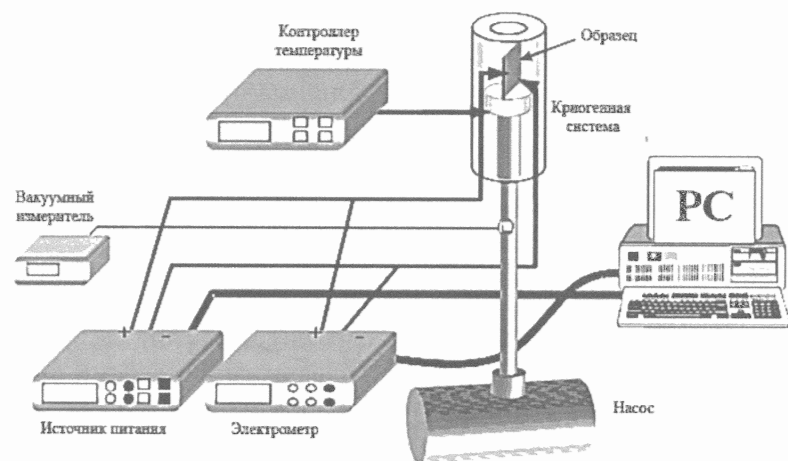


Рис. 58. Устройства, дополняющие фотолуминесцентную систему для измерения электролюминесценции

проводить исследование как при комнатной, так и криогенной температуре. Передняя часть криостата присоединяется к трехмерному позиционирующему устройству для регулировки и имеет оптическое окно для пропускания излучаемого света в монохроматор.

Электролюминесцентная спектроскопия является полезным и важным средством электронного исследования электронных устройств в нанометрическом диапазоне. Это позволяет исследователям понять механизмы светоизлучения в приборах, основанных на нанокристаллах.

Приборы, позволяющие проводить измерения физических величин в нанометровом диапазоне, использующие вышеизложенные методы измерений, существуют несколько десятилетий. Ими оснащены национальные метрологические институты стран с наиболее развитыми нанотехнологическими направлениями — Национальный институт стандартов и технологий NIST (США), Национальная физическая лаборатория — NPL (Великобритания), Физико-технический институт — PTB (Германия), Национальный метрологический институт — LNE (Франция) [70].

Оснащение данных лабораторий включает в себя ряд приборов, позволяющих проводить измерения физических величин в нанометровом диапазоне. К ним относятся сканирующие электронные микроскопы (СЭМ), просвечивающие электронные микроскопы (ПЭМ), сканирующие туннельные микроскопы (СТМ), атомно-силовые микроскопы (АСМ), микроскопы ближнего поля, конфокальные микроскопы, интерференционные микроскопы и ряд других приборов обеспечивающих наивысшее разрешение по измеряемым физическим величинам при нанометровых размерах исследуемого объекта.

Однако в процессе исследований различных наноструктур возникло понимание, что для решения задач обеспечения единства измерений параметров наноструктур данной приборной базы недостаточно. Возникла необходимость значительно повысить точность измерений и увеличить количество измеряемых параметров.

Поскольку пока не разработано приборов, основанных на новых физических принципах, повышение точности приборов

приведенных выше достигается за счет увеличения стабильности параметров окружающей среды, обеспыливания, всесторонней защиты от различных внешних воздействий.

Получение информации о различных физических параметрах нанобъекта во многих случаях может быть достигнуто только путем одновременного измерения ряда физических параметров. Поскольку при переносе объекта от одного прибора к другому ряд его свойства могут существенно измениться.

Это привело к созданию комбинированных приборов, позволяющих, например, без выноса образца в атмосферу исследовать один и тот же участок образца методами сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, ближнепольной оптической микроскопии, дифрактометрии, поляриметрии и т. д.

Приборы подобного типа разработаны и используются в Национальной физической лаборатории. Например, оптико-рентгеновский интерферометр и атомно-силовой микроскоп в комбинации с рентгеновским интерферометром.

Ввиду того, что появляется большое количество наноструктурированных материалов с новыми свойствами, количество нормируемых параметров, требующих проведения измерений постоянно возрастает. Также возникает необходимость создавать стандартные образцы новых наноструктурированных материалов и аттестовывать их. Поэтому для создания и исследования новых свойств наноструктурированных материалов необходимо иметь возможность проводить изготовление таких материалов, а также оказывать на них различные воздействия в процессе измерений.

Этим требованиям соответствует измерительно-технологическая установка высшей точности для создания и исследования наноструктур, созданная в NIST (США). Данная установка считается одним из наиболее совершенных инструментов для исследований наноструктурированных материалов.

Для повышения достоверности регистрации параметров нанобъекта его исследование осуществляется непосредственно сразу после изготовления, причем транспорт объекта из технологической камеры в измерительную осуществляется с помощью

специального робота в сверхвысоком вакууме. Это позволяет, например, в течение нескольких часов исследовать свойства поверхности свободной от газового монослоя.

В России (г. Зеленоград — Центр российской микроэлектроники) в 1989 г. была организована компания «НТ-МДТ», которая разработала научно-технологический комплекс на базе платформы «НаноФаб 100» для научно-исследовательских лабораторий, который является аналогом упомянутой установки, созданной NIST. Научно-технологический комплекс «НаноФаб» обеспечивает создание и измерение образцов в сверхвысоком вакууме [159].

3.3. Метрологическое обеспечение измерений в нанотехнологиях

В гл. 2 приведены основные методы и средства измерений, применяемые в настоящее время для количественной оценки основных свойств и характеристик нанобъектов и обладающее высоким разрешением.

Как уже отмечалось, приборы для измерения физических величин в нанометровом диапазоне существуют достаточно давно, метрологическое обеспечение разработано и исследовано недостаточно.

При этом в метрологическом обеспечении нуждаются как сам технологический процесс создания новых наноструктур, так и измерения параметров создаваемых наноустройств, а также измерения характеристик материалов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами. Особую задачу представляют съем и обработка измерительной информации с устройств столь малых размеров, обеспечение достоверности и метрологической надежности измерений, выполняемых при этом [70].

Однако в области нанотехнологий существует потребность не только в измерительных инструментах и технологиях, но и в калибровочных мерах и обеспечении прослеживаемости (привязки) к эталонам.

Новые характеристики и возможности изделий nanoиндустрии и свойств наноматериалов, создаваемых в результате приме-

нения нанотехнологий, предъявляют особые требования не только к применяемым средствам измерений, но и их метрологическому обеспечению. Эти средства измерений должны обладать новыми функциональными возможностями, расширенными диапазонами измерений и повышенной точностью (например, точность измерения длины должна возрасти в 10–15 раз), что ужесточает требования к уровню обеспечения единства измерений в стране. В первую очередь это относится к точности, диапазонам измерений и функциональным возможностям первичных эталонов и обуславливает необходимость их совершенствования, а также, возможно, и создания новых, исходных эталонов. Решение проблем метрологического обеспечения нанотехнологий не ограничивается совершенствованием эталонов, требуется модернизация существующего и создание более современного, отвечающего новым задачам поверочного оборудования, а также разработка нормативных документов на методы и средства поверки средств измерений, применяемых в nanoиндустрии и других областях использования нанотехнологий, на методики выполнения измерений в связи с развитием нанотехнологий.

Первоочередной задачей в области нанотехнологий является измерение геометрических параметров нанообъектов, что требует обеспечения единства измерений прежде всего в области линейных измерений в нанометровом диапазоне [81, 82, 112].

Но однако следует сказать, что вопросы обеспечения единства измерений также важны при измерении физико-химических параметров и свойств нанообъектов, таких как механические, оптические, электрические, магнитные, акустические и др.

Обеспечение единства измерений физико-химических параметров и свойств нанообъектов требует привязки к эталону, воспроизводящему единицу данной физической величины, и при этом в области нанотехнологий требуется обязательная привязка к эталону единицы длины.

Как уже говорилось, при исследовании новых физических явлений и свойств, возникающих при нанометровых размерах, требуется умение проводить измерения физических параметров очень малых объектов.

Для практической нанометрологии важное значение имеет разработка стандартов на методики выполнения измерений параметров нанообъектов и нанопроцессов, методик поверки и разработка контрольных (калибровочных) образцов (мер), позволяющих обеспечить калибровку применяемых в нанотехнологиях измерительной аппаратуры, а также разработка и тестирование программного обеспечения при проведении калибровки в нанометрологии (рис. 59).

Калибровочные образцы (меры) — важные элементы всех измерительных нанотехнологий. Зарубежные производители измерительной аппаратуры, применяемой в nanoиндустрии, обеспечивают аппаратуру собственными калибровочными образцами (мерами), по этой причине результаты, полученные в одной и той же среде с использованием одних и тех же измерительных технологий после калибровки оборудования по разным калибровочным образцам (мерам) могут различаться.

По этой причине специалисты по нанометрическим измерениям Евросоюза выступили с инициативой сгруппировать многие из имеющихся калибровочных образцов (мер) и провести их исследования с целью определения их параметров (характеристик) [137].

Таким образом, в области нанотехнологий существует не только потребность в измерительных инструментах и технологиях, но и в устройствах для калибровки применяемого оборудования, и в разработке стандартов на методики выполнения измерений и методики поверки.

Актуальность опережающего развития измерительных возможностей в связи с интенсивным внедрением новых наукоемких технологий и их метрологическом обеспечении подтверждает доклад Национального института стандартов и технологий США (NIST), 2007 г., содержащий оценку системы измерений США и оценки преграды, сдерживающих внедрение инноваций и повышение конкурентоспособности на мировом рынке современных технологий [70].

Результаты оценки сводятся к следующему:

— основным препятствием на пути инноваций практически во всех сферах экономики, медицины, здравоохранения, обороны,

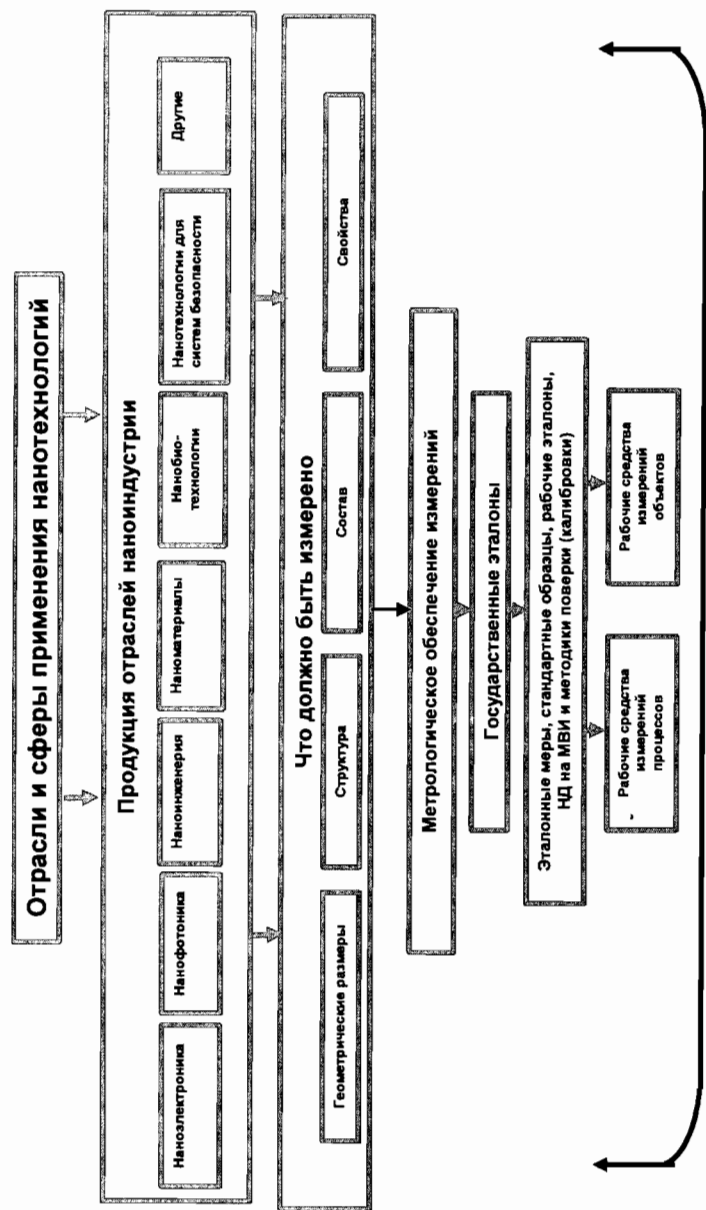


Рис. 59. Обеспечение единства измерений в области нанотехнологий

экологии в США является *недостаточная точность* различных методов и средств измерений;

— практически во всех новых технологиях сдерживающим их развитие фактором служит *отсутствие точных и чувствительных датчиков* различных величин, необходимых для реализации мониторинга процессов и создания систем управления не только новыми технологическими процессами, но и условиями окружающей среды;

— *отсутствие эталонов* для оценки качества создаваемых технологий, включая недостаточные совместимость и взаимодействие программного и аппаратного обеспечения устройств управления разрабатываемых технических средств служат барьером для инноваций во многих развивающихся технологиях.

Сделанные NIST выводы о состоянии и потребности системы измерений в значительной степени справедливы и для европейских стран и России.

Таким образом, обеспечение единства измерений в нанотехнологиях:

во-первых — это эталоны физических величин и эталонные установки, а также стандартные образцы состава, структуры и свойств для обеспечения передачи размера единиц физических величин в нанодиапазоне;

во-вторых, это аттестованные или стандартизованные методики измерений физико-химических параметров и свойств объектов нанотехнологий, а также методики калибровки (поверки) самих средств измерений, применяемых в нанотехнологиях;

в-третьих, это метрологическое сопровождение самих технологических процессов производства материалов, структур, объектов и иной продукции нанотехнологий.

В последние годы, в связи с осознанием стратегических и экономических преимуществ использования нанотехнологий в промышленности, в наиболее развитых странах, наряду с программами развития нанотехнологий, выполняются программы работ по метрологическому обеспечению измерений в этой отрасли.

Так, например, в Национальном бюро стандартов и технологий NIST (США) осуществляется проект под названием «Нанометрическая программа по материаловедению» [70].

В рамках этой программы проводятся исследования по разработке измерительных технологий, проводятся сличения, осуществляется стандартизация и тестируются методы калибровки. Для обеспечения особых условий окружающей среды на территории NIST в Гейтерсберге завершено строительство специальной модернизированной измерительной лаборатории.

В РТВ (Германия) проблемы нанометрологии возложены на отделение точного машиностроения. Ведутся работы по разработке сканирующих количественных микроскопических датчиков, необходимых для решения размерных и иных измерительных задач с неопределенностями до субнанометрических значений.

В Национальной физической лаборатории NPL (Великобритания) проблемами нанометрологии занимается отделение размерной и оптической метрологии. Для обеспечения высокоточной калибровки датчиков перемещения в субнанометровом диапазоне в NPL разработан комбинированный оптико-рентгеновский интерферометр.

Национальное Бюро метрологии и Национальная испытательная лаборатория Франции ведет разработку эталонного средства измерений, способного измерять длины трехмерных объектов с нанометровыми неопределенностями. Реализация этого проекта позволит в ближайшие годы удовлетворить имеющиеся потребности в метрологическом обеспечении нанотехнологий.

Для координации работ европейских метрологических институтов и для удовлетворения потребностей промышленности в ЕВРОМЕТ разработан проект под названием «Инициатива ЕВРОМЕТ по нанометрологии».

В России создан определенный научно-технический задел в области метрологического обеспечения нанотехнологий: разрабатываются и поставляются на внутренний и внешний рынки ряд измерительных атомно-силовых микроскопов [159].

Для калибровки измерительных атомно-силовых (АСМ) и растровых электронных микроскопов (РЭМ), являющихся одними из основных инструментов в нанотехнологиях, разработаны эталоны сравнения — линейные меры, позволяющие существенно

повысить точность и достоверность измерения наноперемещений и геометрических параметров наноразмерных объектов. Разработаны соответствующие методики калибровки и поверки АСМ и РЭМ, которые нашли отражение в пяти стандартах. Разрабатываются эталонные спектрорадиометрические комплексы для контроля параметров процессов нанофотолитографии с использованием синхротронного излучения на накопительном кольце «Сибирь».

В области метрологического обеспечения nanoиндустрии точные, достоверные и прослеживаемые измерения являются основой обеспечения успешного и безопасного развития нанотехнологий, а также доказательной базой для оценки и подтверждения соответствия продукции nanoиндустрии [18, 19].

Предметом измерений в сфере nanoиндустрии являются геометрические параметры, структура, состав и физико-химические свойства nanoобъектов. Пути развития и эффективность системы обеспечения единства измерений параметров nanoобъектов зависят от того, насколько эффективно работает механизм постоянного изучения измерительных задач, а также проводится анализ измерительных и калибровочных потребностей в сфере нанотехнологий, сопоставления их с имеющимися калибровочными возможностями, выработки обоснованных требований к эталонной базе, системе эталонных мер, необходимости разработки новых методик выполнения измерений, испытаний, поверки и калибровки средств измерений.

Значительный объем работ предстоит выполнить в области создания эталонных мер и тест-объектов, а также системы изготовления и аттестации стандартных образцов состава и свойств наноматериалов, роль которых в последнее время неизмеримо возрастает. Крайне важно также отработать систему своевременной разработки, аттестации и внедрения гармонизированных унифицированных методик выполнения измерений, поверки, калибровки и испытаний высокоточных средств измерений, чтобы они не становились «метрологическими барьерами» на пути внедрения инновационных технологий в сфере nanoиндустрии.

Основные проблемы системы обеспечения единства измерений в наноиндустрии:

— не определены приоритетные направления развития нанотехнологий и нанопродукции, что в свою очередь не позволяет сформулировать приоритетные измерительные задачи и решить, какие эталоны после их модернизации можно использовать в сфере нанотехнологий, а какие необходимо создавать заново;

— отсутствуют четкие и систематизированные требования к точности и динамическим диапазонам средств измерений в нанометрологии;

— необходимость во многих практических случаях совмещать измерительные и технологические процессы и, как следствие, объединять и измерительное и технологическое оборудование в единый технологический комплекс;

— высокая стоимость импортного контрольно-измерительного оборудования, ограниченная номенклатура отечественного оборудования и слабая оснащенность лабораторий и технологических участков предприятий и организаций, занятых в сфере нанотехнологий;

— недостаточное количество аттестованных методик выполнения измерений, а также методик поверки, калибровки и испытаний средств измерений, соответствующих международным требованиям в сфере нанотехнологий.

Пути развития национальной системы измерений и эффективность ее функционирования будут зависеть от того, насколько эффективно будет работать механизм постоянного изучения измерительных задач, а также анализа измерительных и калибровочных потребностей в сфере нанотехнологий, сопоставления их с имеющимися калибровочными возможностями, выработки обоснованных требований к эталонной базе, системе эталонных мер и стандартных образцов и разработки новых методов выполнения измерений, испытаний, поверки и калибровки средств измерений.

Учитывая особую сложность и специфичность процессов измерений в наноиндустрии, необходимо осуществить поиск, исследование и внедрение новых физических явлений, технологий

и принципов, способных обеспечить научный прорыв при создании эталонов нового поколения для ключевых направлений научно-технического прогресса.

В России уже сделаны определенные шаги в этом направлении. Принята «Стратегия обеспечения единства измерений в России на 2008–2010 годы и до 2015 года». Согласно ей, индустрия наносистем и материалов является приоритетной отраслью экономики и ее метрологическое обеспечение должно носить опережающий характер. Как указано в Стратегии, программой «Эталонны России» в первоочередном порядке запланировано создание новых и совершенствование существующих государственных первичных эталонов в составе эталонных комплексов. Будут усовершенствованы государственные эталоны времени и частоты, единицы длины, единицы плоского угла, единицы теплопроводности и температурного коэффициента линейного расширения твердых тел (с расширением температурного диапазона измерений от 1800 до 3000 К).

Для обеспечения линейных измерений в нанометровом диапазоне утверждена программа «Создание эталонов единицы длины нового поколения в диапазоне 10^{-9} – 10^{-4} м на 2007–2009 годы».

Выполнение программы позволит:

— обеспечить единство измерений, повысить точность и расширить диапазон линейных измерений в нанометрологии;

— обеспечить современные технологии наноиндустрии методами и средствами прецизионных измерений поверхности твердотельных наноструктур;

— обеспечить новым поколением мер малой длины и государственных стандартных образцов состава и свойств поверхности твердых тел на атомном и молекулярном уровнях;

— обеспечить органы государственной метрологической службы исходными эталонами единицы длины нового поколения в области трехмерных измерений параметров наноструктур и нанообъектов.

Совершенствованию подлежит также ряд государственных эталонов единиц ионизирующих излучений, единиц параметров радиочастотного электромагнитного поля, волнового сопротив-

ления в коаксиальных волноводах, комплексной диэлектрической проницаемости.

Будут созданы комплексы физико-химических эталонов в области мониторинга окружающей среды, безопасности пищевых продуктов, лабораторной медицины, нефтегазовых и химических технологий, а также комплекс взаимосвязанных единиц базовых электромагнитных величин на основе реализации квантовых эффектов Холла и Джозефсона и применения квантовых атомных магниторезонансных преобразователей.

Кроме того, будет создан фоторадиометрический комплекс эталонных средств для обеспечения единства оптико-физических измерений в области космической метрологии.

Глава 4

ГОСУДАРСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СФЕРЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

4.1. Государственная поддержка развития нанотехнологий

В предыдущих главах книги нами подробно была рассмотрена эволюция научных исследований в области нанотехнологий, определены основные понятия в сфере наноиндустрии, место и роль стандартизации и метрологии при действиях с нанообъектами.

Необходимость обратить пристальное внимание на указанные инструменты технического регулирования обоснована нами во введении.

Стандартизация позволяет пользоваться общепринятыми терминами и определениями, что особенно важно при широком применении нанотехнологий в самых различных сферах деятельности и отраслях экономики. Стандарты устанавливают оптимальные требования к объектам наноиндустрии и методы их испытаний, что позволяет контролировать соответствие показателей установленным требованиям.

Метрология дает возможность измерить параметры и характеристики процессов и объектов нанотехнологий с необходимой для практики точностью. Научно-обоснованное обеспечение единства измерений позволяет гарантировать прослеживаемость единиц физических величин вплоть до государственного эталона

по каждому виду измерений. Все это обеспечивает воспроизводимость результатов измерений и их повсеместное признание.

Ранее нами уже отмечалось, что наноиндустрия на сегодняшний день представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся отраслей экономики. По данным 2007 года фундаментальные, поисковые исследования и разработку нанотехнологий осуществляют более 150 научных организаций с численностью около 20 тыс. исследователей. Около 75 российских организаций производят и реализуют продукцию наноиндустрии в объеме более 7 млрд. руб. в год [83].

Необходимо решить задачу обеспечения единства измерений в этой области, сформировать комплекс основополагающих нормативных документов, создать эталонную базу. С целью повышения эффективности и развития наноиндустрии необходимо комплексное применение средств метрологии и стандартизации. За последние годы реализация этой цели начата на национальном уровне.

В 2001 г. для развития принципиально новой отрасли российской промышленности — наноиндустрии был создан государственный концерн «Наноиндустрия». Деятельность Концерна была направлена на создание условий для формирования научно-производственной кооперации предприятий, институтов и вузов в наносфере; формирование рынка сбыта нанопродукции и привлечение инвестиций в наноиндустрию; организацию процесса коммерциализации инновационных разработок и содействие отечественным и зарубежным компаниям в развитии бизнеса в сфере нанотехнологий.

В 2002 г. при Президиуме РАН создается **Научный совет по наноматериалам** и начинается финансирование фундаментальных и прикладных исследовательских программ. Однако следует отметить, что выделяемые средства были недостаточными, по приближенным оценкам финансирование составляло 20–25 млн. долл. в год, что в 30 раз уступало размерам государственной поддержки нанотехнологий, например, в США.

В дальнейшем, согласно Постановлению Правительства РФ № 540 от 12.10.2004 г., в *Федеральную целевую научно-техническую*

программу (ФЦНТП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 годы» были внесены существенные изменения и вопрос финансирования был существенно пересмотрен. В перечне приоритетов появилось направление «Индустрия наносистем и материалы», на поддержку которого было выделено из средств федерального бюджета в 2005 г. 2 млрд. руб., а в 2006 г. — 2.12 млрд. руб. [70].

Следующим шагом стало учреждение (Федеральный закон № 139-ФЗ от 19 июля 2007 года) **государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» («Роснанотех»)**, призванной обеспечить реализацию государственной политики в сфере нанотехнологий и стратегических целей страны — занять лидирующие позиции на мировом рынке нанотехнологий. «Роснанотех» решает эту задачу, выступая соинвестором в нанотехнологических проектах со значительным экономическим или социальным потенциалом. В распоряжение Корпорации в качестве имущественного взноса переданы значительные средства — около 130 млрд. рублей [76]. Ее финансовое участие на ранних стадиях проектов снижает риски ее партнеров — частных инвесторов.

Корпорация участвует в создании нанотехнологической инфраструктуры в России, такой как центры коллективного пользования, бизнес-инкубаторы и фонды раннего инвестирования. Выбор приоритетных направлений инвестирования происходит на основе долгосрочных прогнозов развития, к разработке которых привлекаются ведущие российские и мировые эксперты.

Для поддержки выхода российских организаций на внешние рынки и установления взаимовыгодных международных связей, Корпорация развивает сотрудничество с ведущими мировыми нанотехнологическими центрами и организует в России ежегодный Международный форум по нанотехнологиям, который, по замыслу организаторов, должен стать глобальной площадкой для обсуждения проблем развития наноиндустрии и признания России в этом качестве в мировом нанотехнологическом сообществе.

В этой связи нельзя не отметить пристальное внимание к проблеме развития сферы наноиндустрии в России со стороны петербургских ученых. В июне 2008 года на Санкт-Петербургском

научном форуме «Наука и общество. Нанотехнологии: исследования и образование» были представлены новейшие результаты научных исследований и основные задачи, стоящие перед образованием в области нанотехнологий. Форум проводился по инициативе и при поддержке правительства Санкт-Петербурга, а также Санкт-Петербургского научного центра Российской академии наук, Санкт-Петербургского физико-технологического научно-образовательного центра РАН, Фонда поддержки образования и науки (Алферовский фонд).

К настоящему времени в России сформировалась четкая государственная научно-техническая политика в сфере нанотехнологий (рис. 60) [12]. На основе утвержденной Президентом России в апреле 2007 года инициативы «Стратегия развития наноиндустрии» Правительство Российской Федерации постановлением от 2 августа 2007 года № 498 утвердило *Федеральную целевую программу (ФЦП) «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» (Приложение 5)*. Предусмотренный программой объем финансирования превышает 27 млрд. рубл.

В соответствии с указанной ФЦП поставлена задача развития инфраструктуры наноиндустрии, что позволит Российской Федерации стать достойным конкурентом на формирующемся мировом рынке нанотехнологий и наноматериалов, и создания **Национальной нанотехнологической сети (ННС)** (рис. 61). Для этого необходимо за счет межотраслевой кооперации выстроить такую структурную цепочку, которая гарантировала бы нашей стране нанотехнологический паритет с передовыми государствами мира. ННС будет иметь сетевую организацию, которая предполагает одновременное функционирование головных организаций, как по регионам, так и по направлениям. Кроме того, в Сеть будут входить и научно-образовательные центры, созданные на основе ведущих вузов России.

Технологическими платформами Национальной нанотехнологической сети являются (рис. 62):

— *исследовательско-технологическая*, которая будет обеспечивать НИОКР, единство измерений, создавать базу для стандартизации и подтверждения соответствия;



Рис. 60. Государственная научно-техническая политика в сфере нанотехнологий



Рис. 61. Структура Национальной Нанотехнологической сети

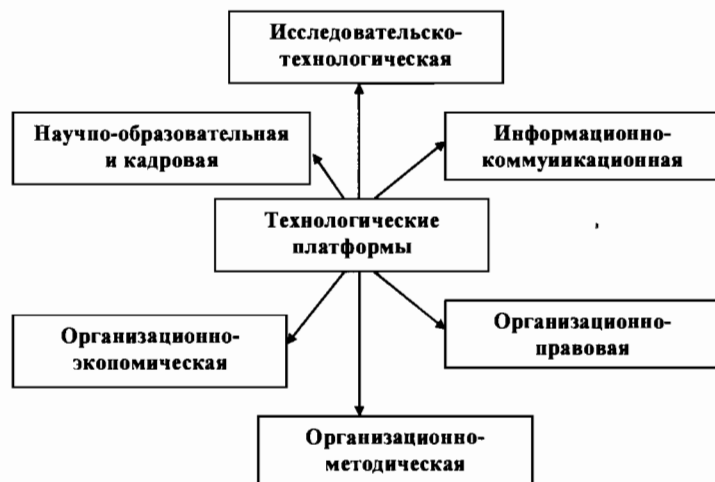


Рис. 62. Технологические платформы Национальной нанотехнологической сети

— научно-образовательная и кадровая, в чьи задачи входит обеспечение междисциплинарной подготовки, высокой мобильности рабочей силы, гибкого реагирования на запросы рынка труда, а также создание социальной инфраструктуры;

— информационно-коммуникационная, обеспечивающая информационную интеграцию национального нанопроизводства, базы данных, мониторинг, форсайты (методики долгосрочного прогнозирования научно-технологического и социального развития), создание интегрированных информационно-телекоммуникационных систем по технологиям типа GRID и GLORIAD, проведение экспериментов в режиме удаленного доступа;

— организационно-экономическая, обеспечивающая коммерциализацию инновационных разработок в наносфере, частно-государственное партнерство;

— организационно-правовая, обеспечивающая правовую базу в наносфере, защиту интеллектуальной собственности, стандартов, страхование рисков;

— организационно-методическая — для международного сотрудничества, обеспечивающая международные научно-технические обмены и кооперацию.

Важнейшими элементами формируемой в рамках Программы инфраструктуры наноиндустрии являются следующие:

— приборно-инструментальная и производственно-технологическая составляющая, которая характеризует материально-техническую и метрологическую базы различных направлений развития наноиндустрии;

— информационно-аналитическая составляющая, которая обеспечивает координацию работ, полноту и актуализацию сведений о перспективных разработках, технологиях и кадровом потенциале в сфере наноиндустрии в Российской Федерации и за рубежом;

— методическая составляющая, которая регламентирует безопасность создания и применения нанотехнологий и наноматериалов, механизмы регулирования развития наноиндустрии, обеспечивает гармонизацию российских и иностранных нормативных и методических документов по обеспечению единства измерений и подтверждения соответствия продукции наноиндустрии.

С целью решения задач Программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008–2010 гг.», развития отечественной наноиндустрии и обеспечения ее конкурентоспособности на мировом рынке на заседании Координационного совета программы было принято решение о создании рабочих групп, призванных развивать каждую из обозначенных выше трех составляющих инфраструктуры:

Рабочая группа № 1 по направлению «Развитие приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры наноиндустрии». В рамках этого направления предусматриваются приобретение оборудования для оснащения государственных организаций национальной нанотехнологической сети, его монтаж, а также подготовка квалифицированного персонала для его эксплуатации.

Рабочая группа № 2 по направлению «Развитие информационно-аналитической составляющей инфраструктуры наноиндустрии». В рамках второго направления осуществляется создание специализированных баз данных для компьютерного обмена информацией при проведении исследований и разработок, в том числе между организациями национальной нанотехнологической сети, и аналитическому обеспечению национальной нанотехнологической сети, выполняются работы по формированию специализированных баз данных по кадровому обеспечению наноиндустрии.

Рабочая группа № 3 по направлению «Развитие методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии». Перечень работ, предусмотренных в рамках направления 3, представлен на рис. 63.

Развитие методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии (согласно ФЦП «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы») направлено на:

- создание и обеспечение функционирования Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии;
- обеспечение подтверждения метрологических характеристик эталонных средств измерений в наноиндустрии;
- сличение их с международными и выполнение мероприятий по взаимному признанию результатов калибровок;



Рис. 63. Содержание работ по направлению 3 «Развитие методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии» в рамках Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008–2010 гг.»

- разработку методик измерений, калибровки и испытаний средств измерений, используемых в наноиндустрии;
- гармонизацию национальных стандартов с требованиями международных стандартов в области нанотехнологий;
- обеспечение безопасности создания и применения объектов наноиндустрии.

На эти работы в 2008–2010 гг. планируется направить 1,5 млрд. руб. (хотя эксперты признают, что необходимо не менее 4–4,5 млрд. руб.).

Государственным заказчиком по направлению 3 выступает Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование), головной организацией определен ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений» (ВНИИОФИ). В настоящее время с целью выполнения поставленных задач разработана программа первоочередных мероприятий, сформирован межведомственный

координационный научно-технический совет (МКНТС) и экспертные научные советы по метрологическому обеспечению, стандартизации и подтверждению соответствия продукции наноиндустрии.

На первом этапе реализации запланированных мероприятий были разработаны:

- проект Концепции обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности использования нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года;

- предложения по организации выполнения проектов с целью развития приборно-инструментальной составляющей метрологического обеспечения наноиндустрии;

- предложения по организации выполнения проектов по развитию методической и нормативно-технической составляющей метрологического обеспечения наноиндустрии;

- программы национальной стандартизации в области обеспечения наноиндустрии на 2008–2010 гг. и т. д.

Следует особо остановиться на *Концепции обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности использования нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года* [4].

Целью Концепции является создание эффективной Российской системы стандартизации, обеспечения единства измерений, безопасности и оценки соответствия конкурентоспособных нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии, необходимых для создания высокотехнологичного российского сектора наноиндустрии, способного паритетно конкурировать с ведущими странами мира на внутреннем и внешнем рынках нанопродукции в ключевых областях обеспечения обороноспособности, технологической безопасности и экономической независимости государства, повышения качества жизни населения.

Для этого предстоит решить ряд задач (рис. 64).

Прокомментируем входящие в указанный комплекс задачи.

1. Модернизация российской системы измерений до уровня ведущих стран мира, необходимого для эффективного функционирования инфраструктуры наноиндустрии.

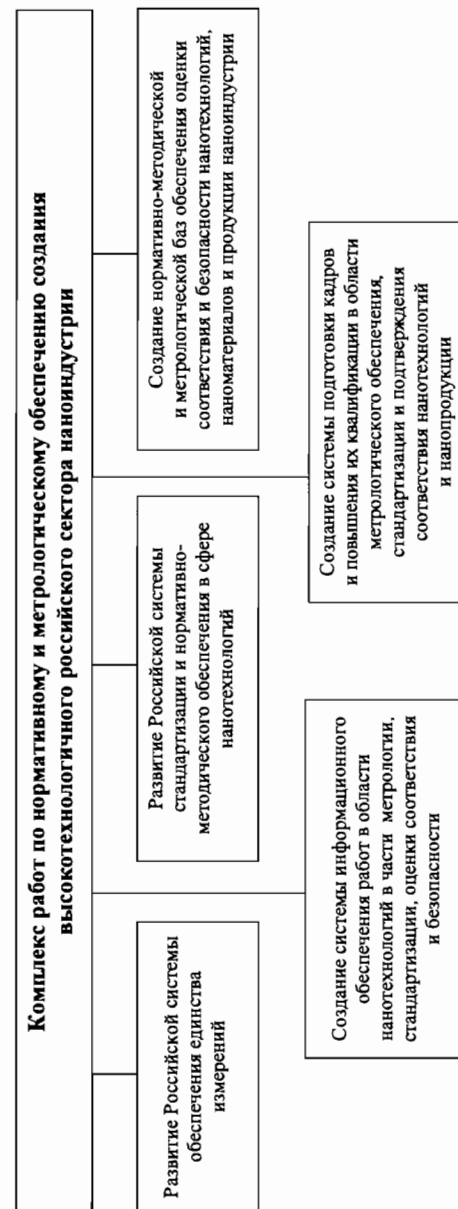


Рис. 64. Комплекс работ по нормативному и метрологическому обеспечению создания высокотехнологичного российского сектора наноиндустрии

Точные, достоверные и прослеживаемые измерения являются основой обеспечения успешного и безопасного развития нанотехнологий, а также подтверждения соответствия продукции наноиндустрии. Все развитые страны осознают необходимость опережающего развития метрологии в этой бурно развивающейся области знаний.

Пути развития Российской системы измерений и эффективность ее функционирования в значительной мере зависят от того, насколько эффективно работает механизм постоянного изучения измерительных задач, а также анализа измерительных и калибровочных потребностей в сфере нанотехнологий, сопоставления их с имеющимися калибровочными возможностями, выработки обоснованных требований к эталонной базе, системе эталонных мер и стандартных образцов и разработки новых методов выполнения измерений, испытаний, поверки и калибровки средств измерений.

Совершенствование действующих национальных эталонов, а также создание новых эталонов в сфере нанотехнологий и производства наноматериалов возможно осуществлять в рамках целевой программы «Эталоны России».

2. Модернизация российской системы стандартизации, гармонизированной с требованиями международных стандартов и обеспечивающей полный охват необходимых требований к нанотехнологиям, наноматериалам и продукции наноиндустрии.

Как было подробно освещено во второй главе настоящей книги, в таких международных организациях по стандартизации, как ИСО и МЭК, проводится планомерная работа по разработке международных стандартов в области нанотехнологий. Созданные в их рамках технические комитеты и рабочие группы решают вопросы разработки стандартов для сферы наноиндустрии по отраслям экономики. Развитые страны активно участвуют в работе этих технических комитетов, приняли собственные национальные программы ускоренного развития наноиндустрии и ее нормативного обеспечения, исходя из принципа: кто разрабатывает стандарты, тот управляет рынком.

Без своевременной гармонизации требований международных и национальных стандартов, без создания собственной нор-

мативной базы наноиндустрии невозможно будет обеспечить проведение скоординированной научно-технической политики в данной области и конкурентоспособность российских товаров.

Кроме того, междисциплинарный характер нанотехнологий требует установления общих принципов формирования нормативного обеспечения и координации работ по стандартизации для развития инфраструктуры национальной сети, охватывающей все направления наноиндустрии.

3. Создание нормативно-методической и метрологической базы обеспечения оценки соответствия и безопасности нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии.

Данная задача обусловлена, в первую очередь, широким использованием наночастиц и наноматериалов в различных отраслях промышленности и при создании разнообразной потребительской продукции, с одной стороны, и ограниченной применимостью при этом существующих подходов к оценке безопасности для наночастиц и наноматериалов — с другой.

Материалы, полученные с использованием нанотехнологий, находят применение в микроэлектронике, энергетике, химической и пищевой промышленности, оптике, строительстве, научных исследованиях, контроле и охране состояния окружающей среды. В ходе их производства, применения и утилизации наноматериалы будут с неизбежностью действовать на организм человека и среду его обитания. В этой связи необходимость формирования единой системы обеспечения и контроля безопасности наноматериалов, ее нормативно-методическая поддержка, создание обоснованных процедур принятия решений и мониторинга их эффективности в условиях развития наноиндустрии и расширения спектра ее продукции очевидны.

Методы оценки и анализа рисков, создаваемых нанобъектами для человека и окружающей среды будут представлены, в параграфе 4.2 книги.

4. Создание системы информационного обеспечения работ в области нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в части метрологии, стандартизации, оценки соответствия и безопасности.

Осуществление информационного обеспечения, наряду с комплексом организационно-технических, финансовых и других мер, чрезвычайно важно для укрепления позиций России в области нанотехнологий и нанопродукции.

Высокий уровень информационного обеспечения подразумевает:

- активное участие специалистов в различного рода международных симпозиумах, конференциях, семинарах и т. д.;
- культуру научного общения;
- нормативно-правовое обеспечение;
- информационные ресурсы (базы данных).

Поэтому, учитывая исключительную важность информационного обеспечения, для этой цели предусмотрено, например, создание и функционирование единой информационной системы по техническому регулированию, в состав которой в качестве ее информационных ресурсов входят базы данных по всем направлениям технического регулирования, в том числе по оценке соответствия и метрологии.

5. Создание системы подготовки кадров и повышения их квалификации в области метрологического обеспечения, стандартизации и подтверждения соответствия нанотехнологий и нанопродукции.

Любые начинания в вопросе развития сферы наноиндустрии в России будут неосуществимы без наличия квалифицированных кадров. Межотраслевой характер нанотехнологий требует совершенно новых подходов к подготовке специалистов, учитывая специфику данной области.

Успешная реализация перечисленных выше задач требует постоянного и глубокого анализа и учета особенностей нанотехнологий, реального уровня их развития и своевременного решения важнейших, наиболее приоритетных проблем, возникающих в ходе работ.

На этапах производства, эксплуатации и утилизации нанопродукции необходимо иметь нормативную и метрологическую базу для обеспечения технологических процессов производства, при оценке соответствия нанопродукции установленным требованиям

до выхода на рынок и в процессе эксплуатации, а также при обеспечении безопасности нанопродукции на перечисленных этапах жизненного цикла.

В этой связи определенную положительную роль должны сыграть отделения Федерального центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии, которые планируется создать в федеральных округах (рис. 65). Такие отделения будут созданы в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске и Хабаровске.

При необходимости аналогичные организации могут создаваться и в других местах функционирования крупных объектов наноиндустрии.

Наряду с региональными подразделениями инфраструктуры наноиндустрии будут действовать отраслевые организации на базе

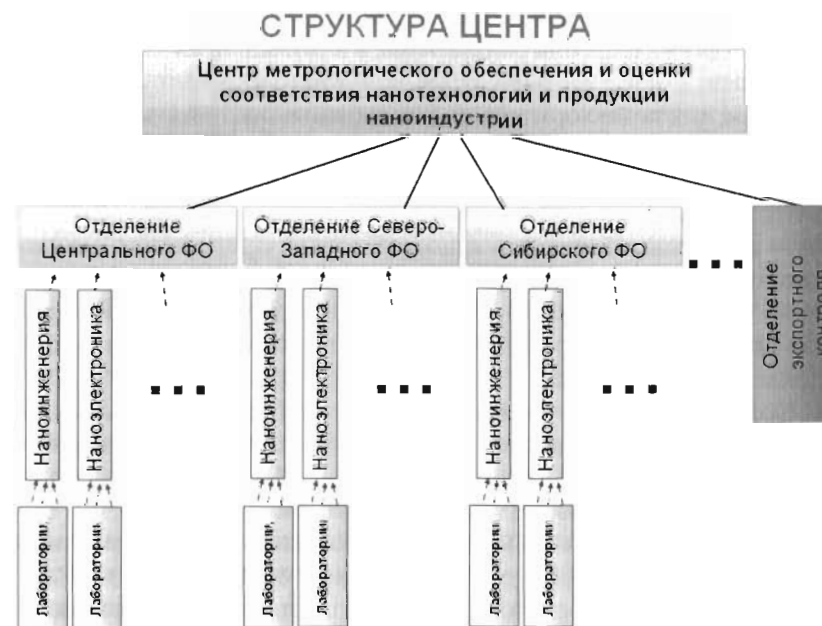


Рис. 65. Распределение работ по обеспечению единства измерений по этапам жизненного цикла продукции

головных научных организаций по основным направлениям нанотехнологий.

Создание элементов инфраструктуры Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции nanoиндустрии, в частности, в Северо-Западном федеральном округе предусматривает:

- формирование структуры и разработку комплекса нормативно-методических и организационно-правовых документов, регламентирующих деятельность Центра в СЗФО;

- разработку механизма координации работ по развитию метрологического обеспечения, стандартизации и оценки соответствия с учетом безопасности применения новых нанотехнологий и наноматериалов;

- формирование системы управления и координации работ Центра в СЗФО;

- необходимое инструментальное дооснащение Центра в СЗФО, организацию переподготовки и повышения квалификации кадров;

- аккредитацию органов подтверждения соответствия, испытательных и метрологических лабораторий и служб и обеспечение международного признания калибровочных возможностей Центра в СЗФО;

- гарантию обеспечения потребностей предприятий нанотехнологической сети в услугах по поверке и калибровке используемых средств измерений, стандартах, а также по подтверждению соответствия продукции nanoиндустрии требованиям безопасности и качества.

Создание элементов инфраструктуры будет содействовать сокращению сроков коммерческой реализации инновационных проектов, повышению их эффективности, обеспечению качества и конкурентоспособности продукции nanoиндустрии.

Несомненно, позитивное влияние окажет и взаимодействие государственных органов с государственной корпорацией «Роснано» в области подготовки экспертов для работы на высококлассном оборудовании.

Кроме того, госкорпорация «Роснано» заключила соглашение с Федеральным агентством по управлению особыми эко-

номическими зонами (РосОЭЗ) [80], согласно которому производство в сфере nanoиндустрии сможет развиваться на базе технико-внедренческих зон. Предприятия-разработчики получат возможность сразу приступить к выполнению проектов, минуя стадию строительства инфраструктуры. Предприятие, попадая в такую зону, получит условия свободного таможенного режима и налоговые послабления. Более того, вся инфраструктура будет создаваться государством, а предприятие должно обустроить лишь свои площади. В Соглашение также включено намерение содействовать решению жилищных вопросов для работников таких предприятий.

К сожалению, первый отбор участников этого проекта показал, что лишь 12 % от поступивших в «Роснано» 300 заявок (по оценкам экспертов) могут завершиться производством.

Предполагается, что одним из первых может стать предприятие по выпуску оборудования для плазмореза (процедуры очистки крови) с применением технологии, аналогов которой в мире еще нет. Стоимость проекта 37 млрд. евро.

Планами предусмотрено создание технико-внедренческих зон в Дубне, Томске и Санкт-Петербурге.

В Дубне начинается формирование нанотехнологического кластера, включая центр коллективного пользования оборудованием, организацию подготовки кадров при университете, бизнес-инкубатор для малых предприятий nanoиндустрии.

В Томске сформируют научно-технологический центр, в который, будет включен и центр продвижения и популяризации продуктов nanoиндустрии.

В Санкт-Петербурге будут созданы элементы индустрии наноматериалов и альтернативной энергетики, включающие центр коллективного пользования оборудованием, бизнес-инкубатор, научно-образовательный центр, центр экспертиз. Кроме того, намечено развитие базы по одному из приоритетных стратегических направлений ведущих стран мира — «Мехатроника и робототехника».

На сегодняшний день Россия отстает от развитых стран в практическом внедрении нанотехнологий на 10–15 лет. Некоторые зарубежные фирмы давно используют уникальные россий-

ские разработки, доводя их до промышленного производства и продавая нам готовые изделия.

В России пока работают единичные предприятия, дающие 0,2 % мировой нанопродукции, тогда как на долю США приходится 30 %, а Японии — 20 % мирового объема [110].

Согласно утвержденным планам, Россия к 2015 году должна производить нанопродукции больше чем на 4 трлн. руб., и только в течение одного 2015 года — на 1350 млрд. рублей, то есть 3–4 % мирового объема [73]. Чтобы выполнить поставленную задачу, требуется вложить до 800 млрд. долларов в основные средства и новое производство.

Наряду с финансированием, для развития отечественной nanoиндустрии необходимо продвижение ее достижений по важнейшим направлениям социально-экономического развития. Хорошей основой для этого могут служить национальные проекты. Так, в национальном проекте «Доступное жилье» можно было бы предусмотреть ряд новшеств, связанных с применением нанотехнологий. В частности, дома можно оборудовать светодиодными светильниками, дающими значительную экономию электроэнергии. Или оснастить дома входными фильтрами, которые очищают воду до уровня питьевой. Таким образом можно было бы сформировать государственный заказ на наукоемкую продукцию.

Словом, перспективы развития nanoиндустрии в России зависят не только от ученых и разработчиков нанотехнологий и нанопродукции, но и от целенаправленного спроса на нее.

4.2. Создание системы оценки и подтверждения соответствия нанотехнологий и наноматериалов

При выпуске на рынок новой продукции встает вопрос о соответствии ее характеристик определенным требованиям, в первую очередь требованиям безопасности.

Одной из важнейших задач государства, обеспечивающего баланс между безопасностью поступающей на рынок продукции и свободным ее перемещением к потребителям, является выра-

ботка и принятие рациональных режимов регулирования движения товаров на рыночном пространстве.

Под регулированием рынка понимаются действия, организующие поведение на нем отдельных групп или лиц. Это могут быть законы, постановления правительства, а также правила, установленные правительством или его органами или неправительственными организациями в рамках их полномочий.

Выделяются три основные группы форм регулирования рынка (рис. 66).

В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» (далее — ФЗ) [1] под термином «*техническое регулирование*» понимается «правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области установления и применения на добровольной основе требований к продукции, процессам

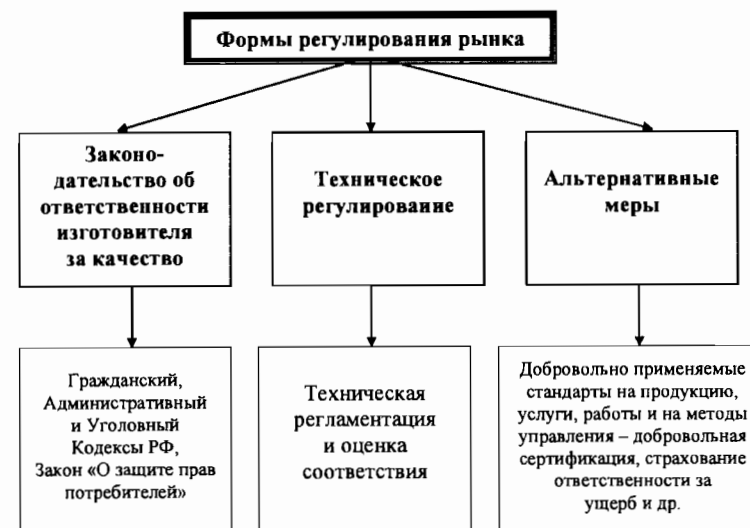


Рис. 66. Формы регулирования рынка

проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия».

При этом для целей данного Федерального закона используются следующие основные понятия [1].

Безопасность продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее — **безопасность**) — состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;

Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

В целях защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества принимаются технические регламенты.

Технический регламент — документ, который принят международным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или межправительственным соглашением, заключенным в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации, и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, или к связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов — проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, или к связанным с ними процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки;

Оценка соответствия — прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Оценка соответствия проводится в формах государственного контроля (надзора), аккредитации, испытания, регистрации, подтверждения соответствия, приемки и ввода в эксплуатацию объекта, строительство которого закончено, и в иной форме.

Подтверждение соответствия — документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводам правил или условиям договоров.

Стандарт — документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт также может содержать правила и методы исследований (испытаний) и измерений, правила отбора образцов, требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения.

Свод правил — документ в области стандартизации, в котором содержатся технические правила и (или) описание процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции и который применяется на добровольной основе;

Рассмотрим цели и принципы, в соответствии с которыми осуществляется подтверждение соответствия в рамках Национальной системы подтверждения соответствия (далее — Система).

Согласно ФЗ «О техническом регулировании» подтверждение соответствия осуществляется в целях:

- удостоверения соответствия продукции, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, сводам правил, условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;
- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляется на основе следующих принципов:

- доступность информации о порядке осуществления подтверждения;
- соответствие для заинтересованных лиц;
- недопустимость применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;
- установление перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;
- уменьшение сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;
- недопустимость принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;
- защита имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;

— недопустимость подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

Система подтверждения соответствия представляет собой совокупность субъектов, участвующих в процессе подтверждения соответствия, действующих на основании определенных норм и правил, регламентирующих порядок проведения работ по подтверждению соответствия. Участников Системы можно разделить на три группы: органы, подтверждающие соответствие (органы по сертификации и (или) аккредитованные испытательные лаборатории (центры)), субъекты, заинтересованные в осуществлении процедуры подтверждения соответствия и субъекты, интерес которых составляет наличие свидетельства, подтверждающего соответствие определенных объектов (рис. 67). Последние две группы — это, в подавляющем большинстве случаев, хозяйствующие субъекты, общественные организации и потребители.

Структура и порядок функционирования Системы определяются законодательством в сфере технического регулирования. В Российской Федерации оно базируется на ряде законов и подзаконных актов, основу которых формируют ФЗ «О техническом регулировании» и Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений».

В ФЗ предусмотрены две формы подтверждения соответствия: обязательное и добровольное (рис. 68).

Форма подтверждения соответствия — определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или



Рис. 67. Участники Системы подтверждения соответствия

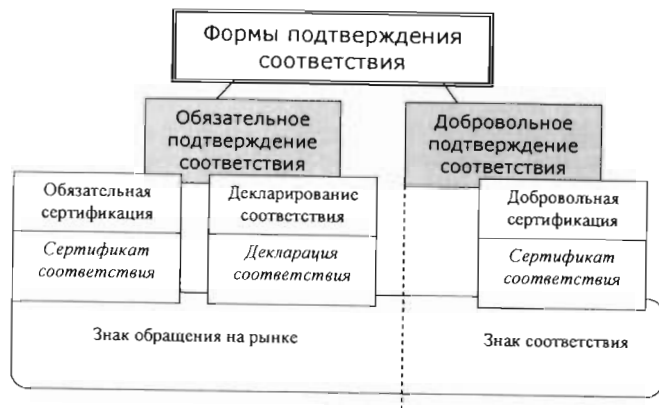


Рис. 68. Формы подтверждения соответствия

иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Добровольное подтверждение соответствия в форме добровольной сертификации осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций, сводам правил, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям технического регламента.

Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории Российской Федерации.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в двух формах: декларирование соответствия и обязательная сертификация.

Сертификация — форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводам правил или условиям договоров.

Сертификат соответствия — документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводам правил или условиям договоров.

Декларирование соответствия — форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Декларация о соответствии — документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только техническим регламентом с учетом степени риска недостижения целей технических регламентов.

Схема подтверждения соответствия — перечень действий участников подтверждения соответствия, результаты которых рассматриваются ими в качестве доказательств соответствия продукции и иных объектов установленным требованиям.

Остановимся подробнее на методологии выбора схем подтверждения соответствия.

Согласно Рекомендациям по выбору форм и схем обязательного подтверждения соответствия продукции при разработке технических регламентов (далее — Рекомендации) подтверждение соответствия продукции требованиям технических регламентов в рамках установленной формы обязательного подтверждения соответствия осуществляется в соответствии со схемами обязательного подтверждения соответствия (далее — схемы), каждая из которых представляет собой полный набор операций и условий их выполнения участниками подтверждения соответствия.

Схемы могут включать одну или несколько операций, результаты которых необходимы для подтверждения соответствия продукции установленным требованиям, а именно: испытания (типовых образцов, партий или единиц продукции); анализ (оценку) производства, сертификацию системы качества (на стадиях проектирования и производства, только производства

или при окончательном контроле и испытаниях); инспекционный контроль.

При выборе схемы на конкретные виды продукции рекомендуется учитывать цели технического регламента, а также требования соответствующих Европейских директив.

В техническом регламенте рекомендуется по возможности устанавливать для одной и той же продукции несколько схем, равнозначных по степени доказательности. Это позволит заявителю выбрать наиболее приемлемую для него схему (п. 1 ст.28 ФЗ «О техническом регулировании»).

Допускается устанавливать в техническом регламенте дополнительные требования по сравнению с соответствующей схемой, приведенной в Рекомендациях, если этого требуют особые условия, например специфика продукции, сектор рынка и т. п.

Схемы обязательного подтверждения соответствия согласно ст. 24 и 25 ФЗ «О техническом регулировании» подразделяются на два вида: схемы декларирования и схемы сертификации.

Рекомендуемый состав схем декларирования приведен в табл. 14, схем сертификации — в табл. 15. Обозначение схем в Рекомендациях образуется порядковым номером с буквой «д» — для схем декларирования и буквой «с» — для схем сертификации.

Чрезвычайно важно, чтобы в процессе проводимых при подтверждении соответствия измерениях можно было точно и достоверно получить значения измеряемых физических величин и иметь гарантии, что всегда и везде результаты этих измерений будут одинаковыми.

Для того чтобы получить такие результаты, необходимо создать условия для обеспечения единства измерений в стране и при международном сотрудничестве, что является главной задачей метрологии и целью метрологической деятельности, которая подробнее рассмотрена в главе 3 настоящей книги.

Следует отметить, что работы в рамках системы оценки соответствия должны проводиться аккредитованными органами.

Аккредитация — официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия;

Схемы декларирования соответствия

Обозначение схемы	Содержание – схемы и ее исполнители	Обозначение европейского модуля, близкого к схеме
1д	Заявитель Приводит собственные доказательства соответствия в техническом файле Принимает декларацию о соответствии	A
2д	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Заявитель Принимает декларацию о соответствии	C
3д	Орган по сертификации Сертифицирует систему качества на стадии производства Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Заявитель Принимает декларацию о соответствии Орган по сертификации Осуществляет инспекционный контроль за системой качества	D
4д	Орган по сертификации Сертифицирует систему качества на этапах контроля и испытаний Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Заявитель Принимает декларацию о соответствии Орган по сертификации Осуществляет инспекционный контроль за системой качества	E

Обозначение схемы	Содержание – схемы и ее исполнители	Обозначение европейского модуля, близкого к схеме
5д	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит выборочные испытания партии выпускаемой продукции Заявитель Принимает декларацию о соответствии	F
6д	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания каждой единицы продукции Заявитель Принимает декларацию о соответствии	G
7д	Орган по сертификации Сертифицирует систему качества на стадиях проектирования и производства Заявитель Проводит испытания образца продукции Принимает декларацию о соответствии Орган по сертификации Осуществляет инспекционный контроль за системой качества	H

Таблица 15

Схемы сертификации

Обозначение схемы	Содержание схемы и ее исполнители	Обозначение прежней схемы сертификации
1с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Аккредитованный орган по сертификации Выдает заявителю сертификат соответствия	1

Обозначение схемы	Содержание схемы и ее исполнители	Обозначение прежней схемы сертификации
2с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Аккредитованный орган по сертификации Проводит анализ состояния производства Выдает заявителю сертификат соответствия	1а
3с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Аккредитованный орган по сертификации Выдает заявителю сертификат соответствия Осуществляет инспекционный контроль за сертифицированной продукцией (испытания образцов продукции)	2, 3, 4
4с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Аккредитованный орган по сертификации Проводит анализ состояния производства Выдает заявителю сертификат соответствия Осуществляет инспекционный контроль за сертифицированной продукцией (испытания образцов продукции и анализ состояния производства)	2а, 3а, 4а
5с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания типового образца продукции Аккредитованный орган по сертификации Проводит сертификацию системы качества или производства Выдает заявителю сертификат соответствия Осуществляет инспекционный контроль за сертифицированной продукцией (контроль системы качества (производства), испытания образцов продукции, взятых у изготовителя или продавца)	5

Обозначение схемы	Содержание схемы и ее исполнители	Обозначение прежней схемы сертификации*
6с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания партии продукции Аккредитованный орган по сертификации Выдает заявителю сертификат соответствия	7
7с	Аккредитованная испытательная лаборатория Проводит испытания каждой единицы продукции Аккредитованный орган по сертификации Выдает заявителю сертификат соответствия	8

* Из числа схем сертификации, установленных Изменением №1 "Порядка проведения сертификации продукции в Российской Федерации"

Аккредитация органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) осуществляется в целях:

— подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия;

— обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);

создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров).

Учитывая исключительную важность информационного обеспечения, на наш взгляд необходимо обеспечение функционирования единой информационной сети в рамках системы оценки соответствия.

В состав такой информационной системы в качестве ресурсов входят базы данных по всем направлениям оценки соответствия (см. рис. 69).

Право на безопасность является одним из основных прав человека, и его защита является одной из обязанностей государства.

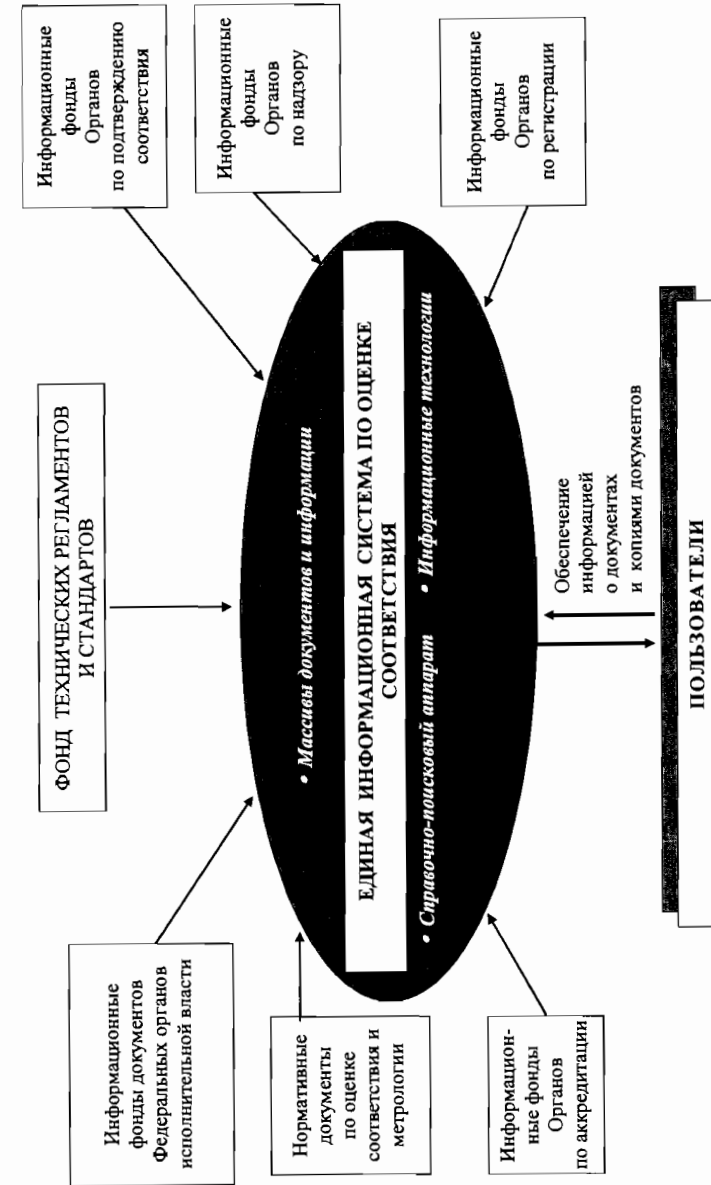


Рис. 69. Структура единой информационной системы оценки соответствия

Развитие нанотехнологий и применение продукции наноиндустрии может нести в себе определенную опасность.

В ФЗ «О техническом регулировании» [1] говорится, что должны быть разработаны требования, которые обеспечивают безопасность в целях защиты жизни или здоровья граждан, имущества, охраны окружающей среды с учетом степени риска.

По данным зарубежных исследований, искусственно созданные наночастицы могут представлять опасность для здоровья человека. Наночастицы имеют чрезвычайно высокую проникающую способность, обусловленную их малыми размерами, что повышает их потенциальную опасность [29].

Важным вопросом является обеспечение оценки безопасности для полного цикла существования любой вводимой в действие нанотехнологии. Причем безопасность должна оцениваться начиная с экспериментальной стадии в исследовательском учреждении, а также на стадиях пилотных разработок, промышленного производства, во всех сферах применения, в возможных аварийных ситуациях, при выводе технологии из эксплуатации и при хранении и захоронении отходов, содержащих нанобъекты. Наиболее грозной и непривычной опасностью представляется выход из под контроля размножающихся молекулярных ассемблеров, которые, продолжая работу в автономном режиме при адекватном снабжении энергией, смогут перестроить любые встреченные ими среды и материалы в новые ассемблеры и некую «серую грязь». Экспоненциальный рост может продолжаться до тех пор, пока доступные энергия и материалы не будут исчерпаны [6].

Более традиционный вид опасности нанобъектов связан с их физико-химическими свойствами, их высокой дисперсностью и характером процессов взаимодействия нанобъектов с элементами живой клетки.

Общей особенностью воздействия нанобъектов и ионизирующих излучений на живые клетки является образование свободных радикалов и перекисей. Оценка безопасности для нанобъектов должна включать описание биологических воздействий, их дозиметрические характеристики, связь этих характеристик с наблюдаемыми уровнями биологических эффектов (кривые

доза-эффект), количественное описание этих эффектов и управление этими эффектами путем применения процедур оптимизации и соблюдения пределов воздействий. При этом дозиметрия нанобъектов становится началом такой цепочки оценок. В качестве физической меры потенциального воздействия нанобъектов предлагаются различные величины и, в частности, поверхность нанобъектов на единицу объема в воздухе или в воде. Выраженность эффекта будет определяться чувствительностью биологической системы к конкретным нанобъектам. В ряде случаев для этих же целей может быть использовано измерение опосредованных величин — выхода свободных радикалов на единицу массы или объемной концентрации перекисных соединений. Обеспечение безопасности персонала при работе с нанобъектами требует разработки и применения такого рода дозиметрических методик.

Вопросы переноса нанобъектов внутри организма человека, так же как и переноса нанобъектов в природных средах и через компоненты экосистем также вписываются в рамки традиционного подхода радиозологии.

Как и в атомном проекте, обеспечение безопасности применения нанотехнологий должно развиваться опережающими темпами и гарантировать оптимизированный минимум вредных воздействий на человека (население и персонал) и окружающую среду. Научный фундамент в виде достаточно полного списка ожидаемых вредных воздействий от различных нанобъектов и наносистем, а также оценки вероятности их проявления у человека и в объектах окружающей среды в зависимости от уровня воздействия (дозы), должны быть созданы в кратчайшие сроки. На основе этого фундамента будет построена система оценок риска и нормативов безопасности применения нанотехнологий. [27]

В настоящее время потребителям доступно уже несколько сотен продуктов, выполненных с использованием нанобъектов. Существует множество классификаций нанобъектов. Однако следует отметить, что наночастицы, поступая в окружающую среду, формируют с окружающим их вещество сложные наносистемы (табл. 16).

Таблица 16

Основные физические формы нанобъектов и образующиеся при их взаимодействии наносистемы

Наночастицы	Наносистемы
Наноблоки	Твердые тела
Фуллерены	Кристаллы, растворы
Нанотрубки	Агрегаты, растворы
Нанокристаллы неорганических веществ	Аэрозоли, коллоиды, осадки
Полимерные молекулы, мицеллы	Золи, коллоиды, гели
Наночастицы на поверхности веществ	Наноструктурированные пленки
Наночастицы в слоях различных веществ	Наноструктурированные пленки

Именно наличие наносистем будет характеризовать поведение нанобъектов в окружающей среде.

Кроме естественных источников поступления наночастиц в окружающую среду в настоящее время добавились источники, связанные с деятельностью человека, как намеренные, так и ненамеренные (табл. 17) [4].

Пути попадания наночастиц в окружающую среду представлены на рис. 70 [5].

Воздействие наночастиц на живые организмы связано:

- с ингаляцией, то есть поступлением с вдыхаемым воздухом через легкие;
- с поступлением с водой и пищей через ЖКТ;
- с поступлением через кожные покровы и слизистые оболочки;
- с воздействием со стороны загрязненных поверхностей;
- с поступлением через жабры в кровеносную систему водных организмов.

Однако большинство нанобъектов нельзя однозначно отнести к «загрязняющим» веществам, они могут поступать в организм человека

- за счет намеренного воздействия при инъекциях или иных медицинских, косметических или оздоровительных процедурах;

Таблица 17

Источники поступления наночастиц в окружающую среду

Природные	Антропогенные	
	ненамеренные	намеренные
Кластеризация в газах и образование аэрозолей	Сжигание топлива в двигателях, на электростанциях и т. д.	Сконструированные нанобъекты
Лесные пожары	Сжигание мусора	Фуллерены
Вулканические выбросы	Сварка, пайка	Нанотрубки
Пыль, поднятая с поверхности; взмучивание вод	Добыча полезных ископаемых, карьеры, шахты	Неорганические нанокристаллы, квантовые точки
Вирусы	Бытовые отходы	Лекарства «точного» действия
Продукты жизнедеятельности (пленки, коллоиды и т. д.)	Промышленное строительство; строительство	Нанопленки, мицеллы, коллоиды
Биобъекты (пыльца растений, споры, бактерии и т. д.)	Приготовление пищи и другие бытовые нужды	Применение нанобъектов в быту

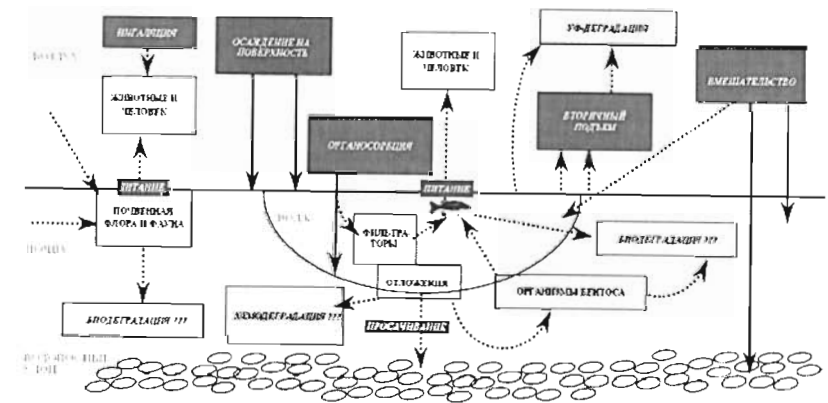


Рис. 70. Пути попадания наночастиц в окружающую среду

- из-за постоянного контакта с бытовыми предметами и материалами, выполненными с использованием НО.

Из-за очень большой удельной поверхности НЧ относительная значимость пути проникновения и воздействия на живые организмы через их поверхность может быть более высокой, чем для «обычных» веществ.

В то же время исследования размеров наночастиц в атмосферном воздухе населенных пунктов и вблизи мест производственной деятельности показывают значительный разброс как их размеров, так и концентраций (табл. 18) [6].

В целом имеющийся набор данных о миграции нанобъектов в живых организмах позволяет утверждать:

- разовое поступление нанобъектов в организм животного вызывает воспалительный эффект, величина которого зависит от дозы;
- нанобъекты накапливаются в органах и тканях;
- проникая и накапливаясь в костном мозге и нервных клетках центральной (ЦНС) и периферической нервной системы (ПНС), нанобъекты оказывают негативное воздействие на функционирование ЦНС и ПНС, приводя к хроническим воспалением и нарушениям сердечно-сосудистой деятельности;

Таблица 18

Типичные концентрации и размеры аэрозольных наночастиц в атмосфере

Вид деятельности	Концентрация наночастиц, $\cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$	Размер, нм
Городская среда, помещения	<1	10–1000
Приготовление пищи	1–70	30–110
Карьерные работы	10	280–520
Шлифовка, обработка металлов	1–20	17–170
Бытовая пайка и сварка	1–40	40–70
Промышленная сварка	5–350	30–130
Строительная сварка	10–5000	30–600
Плазменная резка	5–50	120–180
Аэропорты, дороги	1–70	10–50

- нанобъекты накапливаются в лимфоузлах, костном мозге, легких, печени, почках.

Проведенные к настоящему времени эксперименты позволяют утверждать, что:

- нанобъекты способны воздействовать на метаболизм живой клетки, нарушая его естественный ход, в том числе за счет образования свободных радикалов;
- на клеточном уровне нанобъекты способны проникать внутрь митохондрий и блокировать митохондриальную активность;
- НО способны вызывать повреждение ДНК в экспериментах с изолированными клетками, в том числе за счет блокирования рибосомной активности.

Общая концепция выявления опасности, оценки, анализа и управления рисками, связанными с НТ деятельностью, примерно соответствует подходам, разработанным для тех же целей в области радиационной безопасности (НРБ-99). Логическая схема подхода приведена на рис. 71 [24].

На начальном этапе определяются нанотехнологические источники опасности и характер вызываемых ими вредных эффектов. К настоящему времени известно, что использование нанобъектов может представлять опасность для здоровья человека и для благополучия других живых объектов окружающей среды.

Все вышеизложенное наглядно показывает необходимость создания системы, которая позволит определить безопасность объектов наноиндустрии и их соответствие установленным требованиям.



Рис. 71. Логическая схема этапов оценки и анализа риска, создаваемого нанобъектами для человека и окружающей среды

Сегодня в области подтверждения соответствия в области нанотехнологий стоят следующие проблемы:

- не изучены потенциальные опасности создаваемых наноматериалов и применяемых нанотехнологий;
- не определен перечень объектов контроля и контролируемых показателей;
- отсутствует нормативно-методическая база системы оценки и подтверждения соответствия нанотехнологий и продукции nanoиндустрии;
- не разработаны стандартные испытательные методы изучения воздействия наночастиц на здоровье человека и окружающую среду;
- слабая приборно-инструментальная оснащенность;
- процесс управления разработкой и производством нанопродукции на предприятиях nanoиндустрии не соответствует требованиям международных стандартов в сфере менеджмента качества, безопасности, экологии.

Таким образом, становится очевидной необходимость создания системы оценки соответствия в области нанотехнологий.

Инфраструктура системы оценки соответствия должна предусматривать использование систем как добровольного, так и обязательного подтверждения соответствия, где это продиктовано требованиями обеспечения безопасности окружающей среды и человека, аккредитацию органов по подтверждению соответствия, регистрацию новых нанопродуктов, организацию работы органов надзора (рис.72).

В первую очередь необходимо разработать требования, которые гарантируют защиту потребителя от негативных последствий использования продукции, выпущенной с использованием нанотехнологий. Таким образом, встает вопрос о разработке программы необходимых технических регламентов, содержащих требования безопасности. В совокупности со стандартами технические регламенты будут являться той нормативной базой, на соответствие требованиям которой будет оцениваться продукция.

При проведении процедур подтверждения соответствия следует обратить особое внимание на выбор схемы. Учитывая высо-

кую степень риска при применении нанопродукции, рекомендуется, чтобы выбираемая схема включала испытания готовой продукции, а также оценку производства с учетом требований международных стандартов в сфере управления качеством, экологической безопасностью и условий труда (ИСО серии 9000, 14000 и OHSAS 18001).

Для проведения испытаний нанопродукции на соответствие требованиям технических регламентов и стандартов необходимо разрабатывать методики испытаний с учетом особых свойств нанопродукции, а также разрабатывать и создавать специальное испытательное оборудование.

Важным также представляется использование современных методов менеджмента в рамках системы оценки соответствия. Так, например, необходимо разрабатывать и внедрять отраслевые стандарты на системы менеджмента для предприятий nanoиндустрии на базе международных стандартов ИСО серии 9000.

Особое внимание следует уделить государственному контролю и надзору за продукцией nanoиндустрии. Как было отмечено выше: существует высокая опасность возникновения рисков при производстве и применении такой продукции. Поэтому при проведении государственного контроля логичным будет предусмотреть инструментальные методы, т. е. проведение испытаний продукции.

Следует заметить, что все вышеперечисленные шаги неосуществимы без наличия квалифицированных кадров. Межотраслевой, а скорее, даже надотраслевой характер нанотехнологии требует совершенно новых подходов к подготовке специалистов. В частности, в рамках многоуровневой образовательной системы можно было бы рассмотреть вопрос о подготовке бакалавров по основному фундаментальным направлениям в ведущих университетах страны. Затем уже на уровне магистратуры эти выпускники проходили бы специальную подготовку по нанотехнологиям.

При этом неременным условием высокого качества подготовки выпускников является неразрывное единство образовательной, научной и инновационной деятельности. Такое единство будет достигнуто посредством создания при ведущих вузах страны научно-образовательных центров нанотехнологии, оснащенных самым

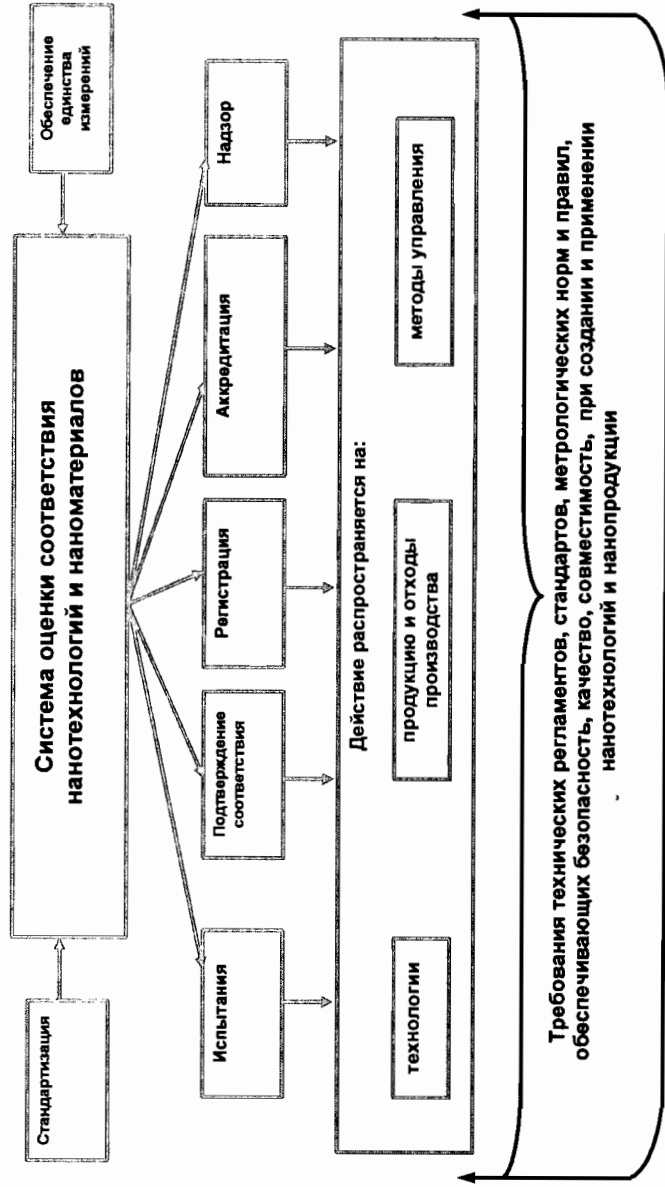


Рис. 72. Состав и структура системы оценки соответствия

современным, регулярно обновляемым аналитическим и технологическим оборудованием.

В дальнейшем в рамках последипломного образования проводится подготовка специалистов для проведения работ по оценке соответствия в области нанотехнологий.

Таким образом, можно определить, что для создания системы оценки соответствия необходимо:

- проводить экспериментальные исследования и формирование перечня наноматериалов и нанотехнологий, способных оказывать негативное воздействие на здоровье людей и состояние окружающей среды;

- определить контролируемые параметры и диапазоны их измерений;

- установить санитарно-гигиенические и экологические нормативы безопасности в сфере nanoиндустрии;

- разрабатывать технические регламенты и другие нормативные документы, гармонизированные с международными аналогами;

- обеспечить взаимодействие с международными комитетами по стандартизации и органами по оценке соответствия;

- вести работу по созданию научно-технического и нормативно-методического комплекса системы оценки соответствия нанотехнологий и продукции nanoиндустрии;

- формировать организационную структуру обеспечения безопасности, основу которой должны составлять системы производственного, санитарно-гигиенического, экологического контроля и мониторинга;

- вести подготовку кадров для обеспечения деятельности по подтверждению и оценке соответствия в области нанотехнологий

- создать систему информационного обеспечения в системе оценки соответствия в сфере нанотехнологий и наноматериалов.

Создание системы оценки и подтверждения соответствия в отношении таких потенциально опасных объектов, как нанотехнологии и наноматериалы, позволит обеспечить рациональные режимы государственного регулирования перемещения товаров на рынке и контроль их безопасности. Таким образом будет достигнуто разумное соотношение между интересами государства и потребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное развитие нанотехнологий и становление nanoиндустрии зависит от многих факторов.

Ключевыми, безусловно, являются достижения ученых многих стран в этой области.

Но для превращения изобретений и лабораторных единичных образцов в промышленную конкурентоспособную продукцию, для «постановки нанотехнологии на поток» (по образному выражению В.В. Путина) необходимы соответствующие условия и ориентированная на эту отрасль инфраструктура. Она должна опираться на нормативную и метрологическую базу, учитывающую специфику нанотехнологий.

Очевидной становится необходимость разработки четкой, ясной и единообразной терминологии, стандартов на характеристики нанопродукции, процессы ее производства, а также на методы измерений и испытаний.

Существенной проблемой также является разработка стандартов на будущие поколения нанотехнологических продуктов и процессов, то есть на области, в которых стандарты могут играть ключевую роль в дальнейшем развитии науки.

Специфика нанотехнологий привела к созданию и развитию нового направления в науке об обеспечении единства измерений — нанометрологии. Необходимы более эффективные инструменты и методы измерений с исключительной точностью. Измерения и управляемое применение квантовых явлений и саморегулируемых процессов вызывают особые затруднения, как

и характеристика процессов в наномасштабе в биологических системах на субклеточном уровне.

В метрологическом обеспечении нуждается как сам технологический процесс создания новых наноструктур, так и измерение параметров создаваемых наноприборов, а также характеристик материалов со специальными физическими, химическими и биологическими свойствами.

Особую задачу представляют съем и обработка измерительной информации, создание устройств столь малых размеров, обеспечение достоверности и метрологической надежности выполняемых измерений.

Следует отметить, что разработка нанотехнологий и применение nanoизделий теоретически, помимо пользы, способны принести человечеству вред, поскольку изучение нанопроцессов и их последствий началось относительно недавно. По этой причине нанотехнологии будущего требуют серьезного анализа рисков, особенно опасности несанкционированного их применения.

Необходимо ускорить разработку технических регламентов, устанавливающих обязательные требования безопасности на основные виды нанопродукции. А для оценки и подтверждения соответствия нанотехнологий и nanoизделий требованиям технических регламентов должна быть создана система органов сертификации, гарантирующих безопасность предприятий nanoиндустрии и выпускаемой ими продукции. Только при наличии указанной инфраструктуры можно обеспечить конкурентоспособность нанопродукции и успешный выход ее на мировой рынок.

Таким образом, программы развития nanoиндустрии в России должны обязательно включать комплекс работ по стандартизации и метрологии нанотехнологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
2. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
3. Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы». Утверждена Постановлением Правительства РФ от 02.08.2007 № 498.
4. Концепция обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности использования нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года.
5. Концепция развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года (одобрена Правительством РФ 18 ноября 2004г., № МФ-П7-6194).
6. Концепция развития национальной системы стандартизации (принята распоряжением Правительства РФ от 28 февраля 2006 г. № 266 — р).
7. Стратегия обеспечения единства измерений в России на 2008–2010 годы и до 2015 года (проект).
8. О состоянии работ в области обеспечения единства измерений Российской Федерации. Доклад в Правительство Российской Федерации по итогам 2007 года.
9. Руководство ИСО/МЭК 2:2004 «Стандартизация и смежные виды деятельности. Общий словарь» / ISO/IEC 2:2004 Guide Standardization and related activities.
10. ГОСТ Р 1.0—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.
11. ГОСТ Р 1.1 — 2005. Технические комитеты по стандартизации. Порядок создания и деятельности.

12. ГОСТ Р 1.10—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения изменения, пересмотра и отмены.

13. ГОСТ Р 1.11—99. ГСС РФ. Метрологическая экспертиза проектов государственных стандартов.

14. ГОСТ Р 1.12—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения.

15. ГОСТ Р 1.13—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Уведомления о проектах документов в области стандартизации. Общие требования.

16. ГОСТ Р 1.2 — 2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.

17. ГОСТ Р 1.4-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения.

18. ГОСТ Р 1.5-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

19. ГОСТ Р 1.6 — 2005. Стандартизация в Российской Федерации. Проекты стандартов. Организация проведения экспертизы.

20. ГОСТ Р 1.8—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения.

21. ГОСТ Р 1.9—2004. Стандартизация в Российской Федерации. Знак соответствия национальным стандартам Российской Федерации. Изображение. Порядок применения.

22. Р 50.1.044 — 2003. Рекомендации по разработке технических регламентов.

23. Стандартизация в Российской Федерации. Комплект стандартов. М.: Изд-во стандартов, 2005.

24. Александров В.С., Себекин А.П. Работы Всероссийского научно-исследовательского института метрологии им. Д.И. Менделеева по метрологическому обеспечению нанотехнологий // Мир стандартов. 2007. № 5.

25. Алферов Ж.И. Двойные гетероструктуры: Концепция и применения в физике, электронике и технологии. // Успехи физических наук. 2002. Т. 172, № 9.

26. Алферов Ж.И., Асеев А.Л., Гапонов С.В., Коптев П.С., Панов В.И., Полторацкий Э.А., Сибельдин Н.Н., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии // Микросистемная техника. 2003. № 8.

27. Алфимов С.М., Быков В.А., Гребенников Е.П., Желудева С.И., Мальцев П.П., Петрунин В.Ф., Чаплыгин Ю.А. Развитие в России работ в области нанотехнологии // Микросистемная техника. 2004. № 8.

28. Анцыферов С.С., Голубь Б.И. / Под редакцией Евтихьева Н.Н. Общая теория измерений. — М.: Горячая линия—Телеком, 2007.

29. Асеев А.Л. Наноматериалы и нанотехнологии для современной полупроводниковой электроники // Российские нанотехнологии. 2006. Т.1.

30. Асташенков А.И., Вишенков А.С. Международные и национальные организации по метрологии на рубеже 21 века. — М.: ВНИИМС, 2000.

31. Белл К., Маррапез М., Моффат Ф. Роль стандартов в области нанотехнологии при информировании международного юридического сообщества // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

32. Блинд К. Экономический потенциал нанотехнологий и возможная роль стандартизации // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

33. Блинов Ф.П. Добровольное применение и обязательное исполнение требований документов по стандартизации // Стандарты и качество. 2003. № 5.

34. Браун С. Стандарты нанотехнологий в области безопасности и экологии // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

35. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н. Шкалы, единицы и эталоны. // Измерительная техника. 1992. № 6.

36. Буденная Ж.Н., Грозовский Г.И., Макушкина С.М. Место и роль технических комитетов по стандартизации // Стандарты и качество. 2003. № 10.

37. Бурдун Г.Д. Справочник по Международной системе единиц. Изд. 2-е. — М.: Изд-во стандартов, 1977.

38. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. М.: Изд-во стандартов, 1985.

39. Бушнев Л.С. Основы электронной микроскопии. Томск: Томск. гос. ун-т, 1990.

40. Винокуров Н. А., Князев Б.А., Кулипанов Г.Н. и др. Визуализация излучения мощного терагерцового лазера на свободных электронах с помощью термочувствительного интерферометра. Новосибирск: Ин-т ядерной физики СО РАН, 2006.

41. Выбор стратегических приоритетов регионального развития: новые теоретико-методические подходы / Под общ. ред. В.В. Окрепилова. СПб.: Наука, 2008.

42. Гоглинский К.В., Кудрявцева В.И., Новиков С.В., Решетов В.Н. Применение атомно-силовой микроскопии для исследования микро-

структуры твердых сплавов на основе карбида вольфрама. Препринт/002-96. М.: МИФИ, 1996.

43. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М.: Машиностроение, 2003.

44. Государственные эталоны России: Каталог. М.: Госстандарт России, 2000.

45. Гримшо Д.Дж. По-прежнему ли прекрасно очень маленькое? // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

46. Гуртов В. Твердотельная электроника. М.: Техносфера, 2005.

47. Драгунов В.П. Основы наноэлектроники учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.

48. Еленин Г.Г. Нанотехнологии, наноматериалы, наноустройства // Новое в синергетике: Взгляд в третье тысячелетие. М.: Наука, 2002.

49. Еременко И.Л., Талисманов С.С. Химическое конструирование гомо- и гетероядерных полиоксомолибдатных кластеров // Успехи химии. 2003. Т. 72.

50. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. М.: Изд-во стандартов, 1991.

51. Зимовнова А. Публикация по материалам «круглого стола» — «Техническое регулирование и Национальная система стандартизации» // Стандарты и качество. 2004. № 6.

52. Иванова Г.Н., Андросенко Н.В. Стандартизация как инструмент обеспечения качества и конкурентоспособности // II Всероссийский научно-практический форум молодых ученых и специалистов «Конкурентоспособность — основа стратегического развития России». 19-22 октября 2004 г.: Материалы форума. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2004.

53. Иванова Г.Н. Национальная стандартизация в свете Федерального закона «О техническом регулировании» // Научно-практический симпозиум молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы и перспективы развития Северо-Запада». 19 декабря 2005г.: Материалы симпозиума. СПб.: Изд-во ИМЦ «НВШ — СПб», 2006.

54. Исаев Л.К. Российская система измерений // Измерительная техника. 1993. № 11.

55. Исаев Л.К., Малинский В.Д. Обеспечение качества: стандартизация, единство измерений, оценка соответствия. М.: Изд-во стандартов, 2001.

56. Ичимура Ш., Юмура М. Углеродные нанотрубки и фуллерены в нанотехнологиях: применение и стандартизация // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

57. Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. М.: Постмаркет, 2000.

58. Ключников В.Н. О приоритетных направлениях стандартизации // Компетентность. 2005. № 4.

59. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005.

60. Ковальчук М.В. Нанотехнологии — фундамент новой наукоемкой экономики 21 века // Сборник материалов Петербургского научного форума «Наука и общество», круглый стол «Нанодиагностика». Санкт-Петербургский физико-технический научно-образовательный центр РАН. СПб. 2008.

61. Крутиков В.Н. О Концепции обеспечения единства измерений, стандартизации, оценки соответствия и безопасности нанотехнологий, наноматериалов и продукции наноиндустрии в Российской Федерации до 2015 года // Сборник материалов Петербург. науч. форума «Наука и общество», круглый стол «Нанодиагностика». СПб.: Санкт-Петербургский физико-технический научно-образовательный центр РАН, 2008.

62. Куейт Ф. Вакуумное туннелирование: новая методика в микроскопии // Физика за рубежом. Сер. А. М.: Мир, 1988.

63. Кузнецов В.А., Исаев Л.К., Шайко И.А. Метрология. М.: Стандартинформ, 2005.

64. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Метрология (теоретические, прикладные и законодательные основы). М.: Изд-во стандартов, 1998.

65. Ларченко Г.А., Спирина Т.Н. Размышления о технических регламентах в химической промышленности // Компетентность. 2005. № 9.

66. Лахов В.М. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий // Компетентность. 2008. № 2.

67. Лучинин В.В. Наноиндустрия — базис новой экономики // Петербургский журнал электроники. 2003. № 3.

68. Лысцов В.Н., Мурзин Н.В. Проблемы безопасности нанотехнологий. М.: МИФИ, 2007.

69. Международные документы по законодательной метрологии / Под ред. Исаева Л.К. М.: ВНИИМС, 2005.

70. Метрологическое обеспечение, стандартизация и оценка соответствия нанотехнологий и нанопроизводства. Аналитический обзор. М.: Ростехрегулирование, ноябрь 2007.

71. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2005.

72. Моисеев Ю.Н., Мостепаненко В.М., Панов В.И., Соколов И.Ю. Экспериментальное и теоретическое исследование сил и пространственного разрешения в атомно-силовом микроскопе // ЖТФ. 1990. Т. 60. № 1.

73. Нанотехнологии. Азбука для всех / Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.

74. Нанотехнология в ближайшем десятилетии / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса. М.: Мир, 2002.

75. Нанотехнологии: вчера, сегодня, завтра. Ред. статья // Мир стандартов. 2007. № 5 (16).

76. Нанотехнологии, наноматериалы, наносистемная техника / Под ред. П.П. Мальцева Сер. «Мир материалов и технологий». М.: Техносфера, 2008.

77. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. М.: Техносфера, 2005.

78. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2005.

79. Никифоров Н.В. О концепции развития национальной системы стандартизации // Стандарты и качество. 2006. № 5.

80. Новая иллюстрированная энциклопедия. М.: Большая российская энциклопедия, 2007.

81. Новиков Ю.А., Раков А.В., Тодуа П.А. «Нанотехнология и нанометрология». Нано- и микросистемная техника. 2006. № 12.

82. Новиков Ю.А., Раков А.В., Тодуа П.А. Нанотехнология и нанометрология // Линейные измерения микрометрового и нанометрового диапазонов в микроэлектронике и нанотехнологии. М.: Наука, 2006.

83. Облонт Ж.М. Метрология: проблема наномасштаба // Мир стандартов. 2007. № 5(16).

84. Окрепилов В.В. Всеобщее управление качеством. Учебник в 4-х книгах. СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1996.

85. Окрепилов В.В. Достижение социально-экономического прогресса на основе всеобщего управления качеством // Экономика и управление. 2008. № 3 (35).

86. Окрепилов В.В. Единая нормативно-техническая база — необходимое условие обеспечения единого свободного рынка // Вестник Межпарламентской Ассамблеи СПб., 2000. № 1 (24).

87. Окрепилов В.В. Инновационный потенциал и управление качеством // Петербург в зеркале. 2008. № 3 (42).

88. Окрепилов В.В. Инновационное развитие экономики и федеральный закон Российской Федерации «О техническом регулировании». // Научное издание «Современное экономическое и социальное развитие: проблемы и перспективы. Ученые и специалисты Санкт-Петербурга и Ленинградской области — Петербургскому экономическому форуму 2005 года». СПб., 2005.

89. Окрепилов В.В. Эволюция качества. СПб.: Наука, 2008.
90. Окрепилов В.В. Менеджмент качества. В 2-х т. СПб.: Наука, 2007.
91. Окрепилов В.В. От точных измерений к управлению качеством // Петербург в зеркале. 2007. № 2 (37).
92. Окрепилов В.В. О мероприятиях по реализации положений Федерального закона «О техническом регулировании» в Санкт-Петербурге // Сб. материалов семинара «Актуальные проблемы технического регулирования» в рамках международной конференции «Контроль на потребительском рынке и защита прав потребителей в государствах-членах СНГ». СПб, 2004.
93. Окрепилов В.В., Иванова Г.Н., Исаев И.И. Проблемы учета риска в технических регламентах (методологический подход к преподаванию) // Материалы II межотраслевой научно-практической конференции «Проблемы и пути решения задач подготовки инженерных кадров для военно-промышленного комплекса Российской Федерации». СПб., 16–17 ноября 2006 г. СПб., 2007.
94. Окрепилов В.В., Элькин Г.И. Система подтверждения соответствия в России. М.: Инновационный фонд «РОСИСПЫТАНИЯ», 2007.
95. Осико В.В. Лазерные материалы. Избранные труды. М.: Наука, 2002.
96. Осипьян Ю.А., В.А. Аксенов, В.С. Шахматов Группы симметрии углеродных нанотрубок. Письма в ЭЧАЯ 2000. № 4 (101).
97. Петров Р.В., Михайлова А.А., Фоница Л.А., Степаненко Р.Н. Миелопептиды. М.: Наука, 2001.
98. Постек М.Т. Метрология в нанометровом диапазоне // Вестник технического регулирования. 2007. № 7.
99. Пугачев С.В., Белобрагин В.Я. Концепция развития национальной системы стандартизации // Стандарты и качество. 2006. № 5.
100. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004.
101. Развитие спектрометрической системы для автоматизации многопараметровых измерений с аппаратной сортировкой информации «Ромашка» / Г.П. Георгиев, А.А. Костина, А.И. Островной и др. Дубна: ОИЯИ, 1994.
102. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004.
103. Рахманов М.Л. Анализ развития законодательной и нормативной базы аккредитации в Российской Федерации // Стандарты и качество. 2003. № 9.
104. Рамбиди Н.Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. М.: «Физматлит», 2007.

105. Российская метрологическая энциклопедия / Гл. редактор Ю.В. Тарбеев. СПб.: Лики России, 2001.
106. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга. Л.: Лениздат, 1987.
107. Соколов С. Нормативное обеспечение методологии стандартизации // Стандарты и качество. 2005. № 8.
108. Сорокин Г.П. О перспективах нанотехнологий в России // <http://globalscience.ru/article/read/227/>
109. Сорокин Е.П. Особенности национальной стандартизации на современном этапе // Стандарты и качество. 2003. № 8.
110. Стрельникова Л. Нано по-американски // Химия и жизнь. 2008. № 3.
111. Суслов А.А., Чижик С.А. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) // Материалы, технологии, инструменты. 1997.
112. Тодуа П.А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. Обзоры. 2007. № 1–2.
113. Трейер В.В. Национальная система стандартизации: какой она должна быть? // Стандарты и качество. 2003. № 8.
114. Федорин В.Л. Государственный первичный эталон единицы длины. Российская метрологическая энциклопедия. - СПб.: Лики России, 2001.
115. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики // Рос. хим. журн. 2002. Т. 46, № 5.
116. Хатто П. Нанотехнологии // Мир стандартов. 2007. № 5(16).
117. Хашек К., Миранде В., Вилкенинг Г. Определение размеров и микро- и нанометровом диапазоне применения, задачи, современный уровень // Отчеты четвертого семинара по количественной микроскопии. 2000.
118. Центр советской космической науки Soviet space science centre / Ин-т космич. исслед. АН СССР / Под общ. ред. Р.З. Сагдеева, А.А. Галева М.: Машиностроение, 1991.
119. Шевченко В.Я. О терминологии: наночастицы, наносистемы, наноконпозиты, нанотехнологии // Микросистемная техника. 2004. № 9.
120. Шеридан Б., Кампсон П., Бейли М. Измерение в наномасштабе: важные вопросы в глубине // Мир стандартов. 2007. № 5(16).
121. Шука А.А. Нанoeлектроника. М.: Физматкнига, 2007.
122. Atabekov J.G., Rodionova N.P., Karpova O.V., Kozlovsky S.V., Novikov V.K., Arkhipenko M.V. Translational activation of encapsidated potato virus X RNA by coat protein phosphorylation. Virology, 2001.

123. A vision for the future. Standards needs for emerging technologies. ISO/IEC 1990. Printed in Switzerland.

124. Binnig G., Rohrer H. Scanning tunneling microscopy // *Helvetica Physica Acta*, 1982. Vol. 55.

125. Binnig G., Quate C. F., Gerber Ch. Atomic force microscopy // *Phys. Rev. Lett.* 1986. Vol. 56, № 9.

126. Bioinformatics of genome regulation and structure. (Eds. N.Kolchanov and R. Hofestaedt), Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London, 2004.

127. Burnham N.A., Colton R.J. Force microscopy // *Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy*. New York, 1994. Ch. 7.

128. Burnham N.A., Colton R.J. Measuring the nanomechanical properties and surface forces of materials using an atomic force microscope // *J. Vac. Sci. Technol. A*. 7, 4, 1989.

129. Campbell A.N., Cole E.I. Jr., Dodd B.A., Anderson R.E. Magnetic force microscopy/Current contrast imaging: A new technique for internal current probing of ICs // *Microelectronic Engineering* 1994. Vol. 24.

130. Elder A.C.P. The Toxicology of Nanomaterials. 2007. Univ of Rochester, DEM.

131. EPA Nanotechnology White Paper. 2007. EPA/100/B-07/001 Feb-2007.

132. Grafstrom S., Kowalski J., Neumann R. Design and detailed analysis of a scanning tunneling microscope // *Meas. Sci. Technol.* 1990. Vol. 1.

133. Howland R., Benatar L. A practical guide to scanning probe microscopy. Park Scientific Instruments, 1996.

134. Luthi R., Meyer E., Howald L., Haefke H., Anselmetti D., Dreier M., Ruetschi M., Bonner T., Overney R. M., Frommer J., Guntherodt H. // *J. Progress in noncontact dynamic force microscopy* // *J. Vac. Sci. Technol.* 1994. Vol. 3.

135. Mechtcheriakova I.A., M.A.Eldarov, L.Nicholson, M. Shanks, K.G. Skryabin, G.P. Lomonosoff «The use of viral vectors to produce hepatitis B virus core particles in plants». *Virology Methods*, 2006.

136. Meyer E. Atomic Force Microscopy // *Progress in Surface Science*, 41/1, 1992. Vol. 41, № 1.

137. Nanometrology. Eighth Nanoforum Report. July 2006.

138. Oberdorster G., Stone V., Donaldson K. Toxicology of nanoparticles: A historical perspective. *Nanotoxicology*. Vol. 1, №16 Mar 2007.

139. Okrepilov V.V. Innovation-based Approach to Quality management of Saint Petersburg Industries. Competitiveness through Excellence— Challenge for Europe 51-st Annual EOQ Congress - Prague, Czech Republic, 2007.

140. Sarid D. Scanning force microscopy with application to electric, magnetic and atomic forces. New York: Oxford University Press, 1991.

141. Surface and interface analysis, edited by H. Buberth and H. Janett, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2002.

142. Weisendanger R. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

143. www.aviapanorama.ru

144. <http://comparative.edu.ru>

145. www.dar.bam.de

146. www.e-drexler.com

147. www.eer.ru

148. www.enecsi.ru

149. www.gost.ru

150. www.inform.kz

151. www.iso.org

152. www.microsystems.ru

153. www.nanometer.ru

154. www.nanonewsnet.ru

155. www.nanoportal.ru

156. www.nanotech.ru

157. www.nanoware.ru

158. www.nkj.ru

159. <http://www.ntmdt.ru>

160. www.old.nanonewsnet.ru

161. www.polpred.com

162. www.rusnano.com

163. www.rustest.spb.ru

164. scientific.ru

165. www.vz.ru

166. www.wikipedia.org

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Перечень тем,
непосредственно связанных с применением нанотехнологий,
по которым проводилась оценка экспертами ИСО

Материалы и их применение

1. Практическое применение технологии производства полупроводниковых суперрешеток с двух или трехмерным контролем.
2. Разработка методов синтеза веществ, обладающих новыми функциями (например, высокополимерные кристаллы со сверхслабыми связями) на основе совокупности многочисленных типов на атомном уровне.
3. Практическое применение технологии синтетической реакции с фактической 100 %-ной избирательностью на основе каталитического контроля на молекулярном уровне.
4. Разработка технологии неразрушающего контроля, способной выявлять дефекты на микронном уровне в керамических материалах.
5. Практическое применение разделения полимер-молекулярной мембраны на основе различия физических свойств.

Информация, электроника и программное обеспечение

6. Разработка приборов с логической схемой, рассчитанных на скоростное переключение в 1 пикосекунду или менее.
7. Разработка полупроводниковых устройств с применением кремния, рассчитанных на скорость переключения от 2 до 3 пикосекунд.
8. Разработка методов, обеспечивающих обработку образцов с точностью до 10 нанометров.

Наука о жизни

9. Разработка методов проектирования первичных структур белка, позволяющих определить его специфические функциональные характеристики.
10. Практическое применение молекулярной биологии при профилактике заболеваний генетического характера.
11. Выведение новых (высокопродуктивных, болезнестойких, морозостойких и т. д.) сортов культур с помощью методов геной инженерии.

Космонавтика

12. Разработка высоконадежных и высокоэффективных новых материалов, отличающихся высокой удельной прочностью, упругостью и теплостойкостью, которые резко сократят затраты на транспортные операции в космосе.

Сельское хозяйство

13. Практическое применение улучшенных высокоурожайных, болезнестойких и морозостойчивых сортов культур, полученных в результате манипуляции генами растений (рекомбинации ДНК).
14. Широкое применение методов, обеспечивающих хранение и использование генетических жизненных ресурсов на клеточном уровне и уровне ДНК.
15. Практическое применение синтетических вакцин, полученных в результате рекомбинации ДНК, в целях профилактики заболеваний животных на животноводческих фермах.

Медицина

16. Возможность синтеза функциональных искусственных мембран, способных удалять из крови определенные компоненты или обеспечивать требуемые газообразования.

Городское хозяйство

17. Разработка новых систем очистки сточных вод на базе биотехнологии, обеспечивающих высокоэффективную обработку веществ, с трудом поддающихся разложению, а также веществ, опасных для здоровья человека.

ИНФОРМАЦИЯ ИСО/ТК 229

Проекты стандартов ИСО/ТК 229 «Нанотехнологии»

Наименование	Состояние
<u>ISO/AWI TS 10797</u> - Нанотрубки – Применение трансмиссионной электронной микроскопии (TEM) в нанотрубках с углеродными стенками (SWCNT)	20.00
<u>ISO/AWI TS 10798</u> - Нанотрубки – Применение сканирующей электронной микроскопии (SEM) и энергетического дисперсионного рентгеновского анализа (EDXA) для определения характеристик однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	20.00
<u>ISO/CD 10801</u> - Нанотехнологии - Выработка наночастиц для проведения испытаний на ингаляционную токсичность	30.20
<u>ISO/CD 10808</u> - Нанотехнологии - Мониторинг наночастиц в ингаляционной экспозиционной камере для проведения испытаний на ингаляционную токсичность	30.20
<u>ISO/NP 10812</u> - Нанотехнологии - Применение рамановской спектроскопии для определения характеристик однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	10.99
<u>ISO/NP TS 10867</u> - Нанотрубки – Применение фотолюминесцентной спектроскопии в ближней ИК-области (NIR-PL) для определения характеристик однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	10.99
<u>ISO/NP TS 10868</u> - Нанотрубки – Применение абсорбционной спектроскопии в видимой ультрафиолетовой ближней ИК-области (UV-Vis-NIR) для определения характеристик однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	10.99
<u>ISO/AWI TS 10929</u> - Нанотрубки – Методы измерения для определения характеристик многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT)	20.00
<u>ISO/AWI TS 11251</u> - Нанотехнологии – Применение анализа излучаемых газов с использованием газового хроматографа масс-спектрометрии (EGA-GCMS) для определения характеристик однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	20.00

Наименование	Состояние
<u>ISO/AWI TS 11308</u> - Нанотехнологии – Применение термогравиметрического анализа (TGA) для определения чистоты однослойных углеродных нанотрубок (SWCNT)	20.00
<u>ISO/AWI TS 11751</u> - Термины и определения по углеродным наноматериалам	20.00
<u>ISO/AWI TS 11803</u> - Нанотехнологии – Формат представления отчетности по содержанию разработанных наноматериалов в продукции	20.00
<u>ISO/AWI TR 11808</u> - Нанотехнологии – Руководство по методам измерений наночастиц и ограничения	20.00
<u>ISO/AWI TR 11811</u> - Нанотехнологии – Руководство по методам измерений в сфере нанотрибологии	20.00
<u>ISO/NP TS 11811</u> - Определение мезоскопических форм-факторов многослойных углеродных нанотрубок (MWCNT)	10.99
<u>ISO/NP 11931</u> - Нанотехнологии – Карбонат нано-кальция	10.99
<u>ISO/NP 11937</u> - Нанотехнологии – Диоксид нано-титана	10.99
<u>ISO/NP 12025</u> - Наноматериалы - Общая основа для определения содержания наночастиц в наноматериалах посредством создания аэрозолей	10.99
<u>ISO/NP TS 12144</u> - Нанотехнологии – Основные термины – Термины и определения	10.99
<u>ISO/CD TR 12885</u> - Нанотехнологии – Здоровье и безопасность рабочих установок, имеющих отношение к нанотехнологиям	50.00
<u>ISO/NP TS 12921</u> - Нанотехнологии – Термины и определения для наноструктурированных материалов	10.99
<u>ISO/ TS 27687</u> - Нанотехнологии – Термины и определения в сфере нанообъектов – Наночастицы, нановолокно и нанопластины	60.00
<u>ISO/NP 29701</u> - Нанотехнологии – Эндотоксиновые испытания образцов наноматериалов для лабораторных систем	30.99

Международные гармонизированные коды стадий ЖЦ стандартов

СТАДИЯ	ЭТАП						
	00	20	60	92	93	98	
00 Предварительная стадия	Регистрация	Начало основных мероприятий	Завершение основных мероприятий	Повтор предыдущего этапа	Повтор текущего этапа	Отмена/прекращение мероприятий	99 Продолжение мероприятий
	00.00 Получено предложение о новом проекте	00.20 Рассмотрение предложения по новому проекту	00.60 Процесс рассмотрения завершен			00.98 Отклонение предложения по новому проекту	00.99 Утверждение голосованием предложения по новому проекту
10 Внесение предложения	10.00 Регистрация предложения по новому проекту	10.20 Начало голосования по новому проекту	10.60 Окончание голосования	10.92 Предложение направлено объектно лицу, внесшему его, для дальнейшего формулирования		10.98 Отклонение нового проекта	10.99 Утверждение нового проекта
20 Подготовительная стадия	20.00 Регистрация нового проекта в рабочей программе Комитетов (ТК-технический комитет/ПоК - постоянный комитет)	20.20 Начало этапа мероприятий по Рабочему проекту (РП)	20.60 Окончание периода внесения комментариев			20.98 Отклонение проекта	20.99 Утверждение РП для регистрации в качестве Проекта Комитета (ПК)

30 Стадия отработки проекта Комитетом	30.00 Регистрация Проекта комитета (ПК)	30.20 Начало этапа рассмотрения/голосования по ПК	30.60 Окончание голосования / внесения комментариев	30.92 ПК направлен обратно Рабочей Группе	30.98 Отмена проекта	30.99 Утверждение ПК для регистрации в качестве Проекта Международного стандарта (ПМС)
40 Рассмотрение	40.00 Регистрация Проекта Международного стандарта (ПМС)	40.20 Начало голосования по ПМС: <i>продолжительность - 5 месяцев</i>	40.60 Окончание голосования	40.92 Распространение полного отчета: ПМС направляется обратно Комитету(ТК или ПоК)	40.98 Отмена проекта	40.99 Распространение полного отчета: утверждение ПМС для регистрации в качестве Первого Проекта Международного стандарта (ПМС)
50 Утверждение	50.00 Регистрация Первого Проекта Международного стандарта (ПМС) для официального утверждения	50.20 Начало голосования по ПМС: <i>продолжительность - 2 месяца. Обсуждение (подтверждение) направляется в Секретариат</i>	50.60 Окончание голосования. Секретариат возвращает обоснование	50.92 ПМС направляется обратно Комитету(ТК или ПоК)	50.98 Отмена проекта	50.99 Утверждение ПМС для публикации

СТАДИЯ		ЭТАП			
60 Публикация	60.00 Международный стандарт находится на стадии публикации	60.60 Международный стандарт опубликован	90.92 Международный стандарт подлежит пересмотру	90.93 Международный стандарт утвержден	90.99 Предложение об отмене Международного стандарта, вынесенное Комитетом (ТК или ПоК)
	90 Пересмотр	90.20 Международный стандарт находится на стадии периодического пересмотра	90.60 Окончание пересмотра	95.92 Принятие решения против отмены Международного стандарта	95.99 Отмена Международного стандарта
95 Отмена	95.20 Начало голосования об отмене	95.60 Окончание голосования			

ИНФОРМАЦИЯ РОССИЙСКОГО ТК 441

Перечень областей стандартизации ТК 441
«Нанотехнологии и наноматериалы»
по ОК (МК (ИСО/ИНФКО МКС) 001-96) 001-2000

03.100.40	Научные исследования и разработки *Включая управление проектом, анализ стоимостных показателей и т. д.
17.020	Метрология и измерения в целом *Включая измерительные приборы в целом, предпочтительные числа, эталонные меры, общие аспекты эталонных материалов и т. д. *Величины и единицы измерений см. 01.060 *Химические эталонные материалы см. 71.040.30
17.180.30	Оптические измерительные приборы *Включая спектроскопы, геодезические инструменты и т.д. *Офтальмологическая оптика и инструменты см. 11.040.70 *Лазерное оборудование см. 31.260 *Волоконная оптика см. 33.180 *Оптическое оборудование, материалы и компоненты см. 37.020 *Фотографические линзы см. 37.040.10
35.020	Информационные технологии (ИТ) в целом *Включая общие аспекты информационно-технологического оборудования
37.020	Оптическое оборудование *Включая микроскопы, телескопы, бинокли, оптические материалы, оптические компоненты и оптические системы *Офтальмологическое оборудование см. 11.040.70 *Оптические измерительные приборы см. 17.180.30 *Линзы для фотографической аппаратуры см.37.040.10

**Перечень продукции ТК 441
«Нанотехнологии и наноматериалы»
по ОК 005-93**

42 1000	ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
42 5000	ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
43 1000	ПРИБОРЫ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
43 4000	СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, УЗЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
44 3000	ПРИБОРЫ ОПТИЧЕСКИЕ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО, СПЕЦИАЛЬНОГО И НАУЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
44 4000	ФОТО- И КИНОАППАРАТУРА (КРОМЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ) . АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И ОБРАБОТКИ ФОТО- И КИНОМАТЕРИАЛОВ
44 6000	АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО КИНЕМАТОГРАФА
44 7000	ПРИБОРЫ ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ И ПРИЦЕЛЫ
44 8000	КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНАЯ И ЮСТИРОВОЧНАЯ АППАРАТУРА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ
44 9000	АГРЕГАТЫ, УЗЛЫ И ДЕТАЛИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ УНИФИЦИРОВАННЫЕ

Приложение 4

**Перечень подкомитетов и участвующих в работе организаций,
входящих в состав
ТК 441 «Нанотехнологии и наноматериалы»**

№ п/п	Подкомитеты
1	ПК 1 «Нанотехнологии»
2	ПК 2 «Квантоворазмерные эффекты в наукоемких технологиях»
3	ПК 3 «Термины и определения»
4	ПК 4 «Методы и средства обеспечения единства измерений в нанотехнологиях»
5	ПК 5 «Нанотехнологии в микроэлектронике»
6	ПК 6 «Материалы, структуры и объекты нанотехнологии»
7	ПК 7 «Нанотехнологии и наноиндустрия»

№ п/п	Организации
1	Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума
2	РНЦ «Курчатовский институт»
3	Институт радиотехники и электроники РАН
4	Институт кристаллографии РАН
5	Физико-технологический институт РАН
6	Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН
7	Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН
8	Центр фотохимии РАН
9	Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
10	Институт физики полупроводников СО РАН
11	Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН
12	Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов, Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности (Гиредмет)

№ п/п	Организации
13	фирма НТ-МДТ
14	Центральный научно-исследовательский технологический институт «Техномаш»
15	«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»
16	Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений
17	Московский институт стали и сплавов
18	Московский физико-технический институт
19	ОАО «Элпа» (г. Зеленоград)
20	ЗАО Концерн «Наноиндустрия»
21	Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова
22	Научно-исследовательский институт технической физики и автоматизации
23	Всероссийский научно – исследовательский институт авиационных материалов,
24	Центральный научно – исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей»
25	Научно – производственное предприятие «Циклон – Тест»
26	Научно – исследовательский институт вакуумной техники им. С.А. Векшинского
27	Государственный университет природы, общества и человека «Дубна»
28	Тамбовский государственный университет
29	АНО «Институт нанотехнологий МФК»

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПОСТАНОВЛЕНИЕ
от 2 августа 2007 г. N 498

**О ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЕ
«РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАНОИНДУСТРИИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»**

Правительство Российской Федерации постановляет:

1. Утвердить прилагаемую федеральную целевую программу «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008—2010 годы» (далее — Программа).

2. Министерству экономического развития и торговли Российской Федерации и Министерству финансов Российской Федерации при формировании проекта федерального бюджета на соответствующий год включать Программу в перечень федеральных целевых программ, подлежащих финансированию за счет средств федерального бюджета.

3. Рекомендовать органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации при принятии в 2008—2010 годах региональных целевых программ учитывать положения Программы.

Председатель Правительства
Российской Федерации
М. ФРАДКОВ

Утверждена
Постановлением Правительства
Российской Федерации
от 2 августа 2007 г. N 498

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА
«РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАНОИНДУСТРИИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»**

ПАСПОРТ

федеральной целевой программы
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии
в Российской Федерации на 2008—2010 годы»

Наименование Программы	— федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008—2010 годы»
Основание для разработки Программы	— протокол заседания Правительства Российской Федерации от 7 сентября 2006 г. N 31
Государственные заказчики Программы	— Федеральное агентство по науке и инновациям, Федеральное агентство по образованию, Федеральное агентство по атомной энергии, Федеральное космическое агентство, Федеральное агентство по промышленности, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Федеральная служба по техническому и экспортному контролю
Государственный заказчик — координатор Программы	— Министерство образования и науки Российской Федерации
Основные разработчики Программы	— Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по науке и инновациям
Цель Программы	— создание в Российской Федерации современной инфраструктуры национальной нанотехнологической сети для развития и реализации потенциала отечественной наноиндустрии

Задачи Программы

— оснащение специальным экспериментальным, диагностическим, метрологическим, научно-технологическим и производственным оборудованием, иными приборами и устройствами элементов национальной нанотехнологической сети, формируемых на базе государственных организаций, обеспечение эффективной эксплуатации и использования приборно-инструментальной базы в интересах российских научных организаций, образовательных учреждений высшего профессионального образования, выполняющих работы в области нанотехнологий и наноматериалов; создание и поддержка функционирования системы обмена информацией между организациями, входящими в состав национальной нанотехнологической сети, в целях повышения эффективности их деятельности, коммерциализации и популяризации знаний в области нанотехнологий и наноматериалов; формирование системы методического обеспечения, регламентирующей безопасность создания и применения нанотехнологий и наноматериалов; формирование системы методического обеспечения механизмов регулирования развития наноиндустрии, гармонизирующей российские и международные нормативные и методические документы по обеспечению единства измерений и подтверждения соответствия продукции наноиндустрии, поддержки экспорта в целях стимулирования процессов коммерциализации нанотехнологий и вывода на внутренний и внешний рынки новой продукции наноиндустрии

Важнейшие целевые индикаторы и показатели Программы

— удельный вес научных, инновационно-технологических, внедренческих и коммерческих организаций, имеющих доступ к различным составляющим инфраструктуры наноиндустрии, в общем числе российских организаций, участвующих в исследованиях, разработках и производстве продукции наноиндустрии, — 90 процентов; удельная оснащенность (стоимость оборудования) одного сотрудника, занятого в исследованиях и разработках в рамках национальной нанотехнологической сети, — 860 тыс. рублей; средний возраст научного и специального оборудования, приборов и устройств головных организаций отраслей в составе национальной нанотехнологической сети - 5 лет

Сроки реализации Программы	— 2008—2010 годы
Объемы и источники финансирования Программы	— всего на 2008—2010 годы (в ценах соответствующих лет) — 27733 млн. рублей, в том числе средства федерального бюджета — 24944,6 млн. рублей, из них: капитальные вложения — 15245,6 млн. рублей; прочие нужды — 9699 млн. рублей; средства из внебюджетных источников - 2788,4 млн. рублей. Объемы и источники финансирования ежегодно уточняются при формировании федерального бюджета на соответствующий год
Ожидаемые конечные результаты реализации Программы и показатели ее социально-экономической эффективности	— создание нового поколения наноматериалов и нанотехнологий для использования в ключевых областях науки и техники, ресурсо- и энергосбережении, промышленном производстве, здравоохранении и производстве продуктов питания, а также для поддержания необходимого уровня обеспечения обороноспособности и безопасности государства; увеличение доли продукции, произведенной с помощью созданной в рамках Программы инфраструктуры наноиндустрии, до 75 процентов общего объема продукции наноиндустрии, произведенной в Российской Федерации; обеспечение мирового уровня исследований и разработок, оснащенности научно-исследовательским, метрологическим и технологическим оборудованием организаций, работающих в сфере наноиндустрии, и получение при этом организациями — участниками Программы до 80 патентов (в том числе международных) в год; развитие и реализация российского потенциала наноиндустрии и активное участие Российской Федерации в международной научно-технической кооперации; создание системы учета информации о результатах научных исследований и технологических разработок в сфере наноиндустрии, полученных организациями различных организационно-правовых форм, обеспечение доступа к этой информации; совершенствование методической базы научно-технической и инновационной деятельности в сфере наноиндустрии; создание и ресурсное обеспечение уникальных науч-

ных установок, сети центров коллективного пользования уникальным научным и экспериментальным оборудованием; создание и развитие инновационной инфраструктуры, совершенствование механизма взаимодействия участников инновационного процесса, включая организацию взаимодействия научных организаций и высших учебных заведений с промышленными организациями, в целях продвижения новых нанотехнологий и наноматериалов в производство; сохранение и развитие кадрового потенциала, в том числе создание условий для привлечения и закрепления талантливой молодежи в сфере наноиндустрии, возвращения в Российскую Федерацию ведущих российских ученых и специалистов в сфере наноиндустрии, работающих за рубежом, и их трудоустройства. При этом доля научных сотрудников, имеющих не менее 3 лет опыта проведения исследований и разработок технологий с использованием научного оборудования мирового уровня, в общем числе научных сотрудников организаций национальной нанотехнологической сети, составит не менее 70 процентов

I. Характеристика проблемы, на решение которой направлена Программа

Системной проблемой в сфере наноиндустрии, являющейся основой развития наукоемкой экономики, в настоящее время является разрыв между необходимостью проведения на высоком уровне исследований и разработок, научно-технологическим заделом в этой сфере и критически низким уровнем развития инфраструктуры наноиндустрии, что не позволяет Российской Федерации стать достойным конкурентом на формирующемся мировом рынке наноиндустрии.

В Бюджетном послании Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации о бюджетной политике в 2008—2010 годах обращается внимание на необходимость продолжения решения вопросов развития наноиндустрии с применением программно-целевых методов.

Ускоренное выполнение работ в сфере развития инфраструктуры наноиндустрии призвано обеспечить реализацию стратегических национальных приоритетов Российской Федерации, определенных в Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу, утвержденных Президентом Российской Федерации 30 марта 2002 г., в том числе повышение качества жизни населения, достижение

экономического роста, развитие фундаментальной науки, образования и культуры, обеспечение обороноспособности и безопасности государства.

Правительство Российской Федерации одобрило в основном Концепцию развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года (поручение Правительства Российской Федерации от 18 ноября 2004 г. N МФ-П7-6194), в соответствии с которой важным направлением реализации государственной политики в области инновационного развития наноиндустрии является материально-техническое обеспечение работ с учетом возможности кооперации при использовании уникального дорогостоящего научного оборудования в целях создания сбалансированной и гибкой инфраструктуры, обеспечивающей ускоренное развитие основ наноиндустрии и освоение внутреннего и внешнего рынков наукоемкой продукции.

В президентской инициативе «Стратегия развития наноиндустрии», утвержденной Президентом Российской Федерации, одним из основных инструментов государственной политики в сфере нанотехнологий определена федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008—2010 годы» (далее — Программа).

Инфраструктура наноиндустрии должна создаваться не для отдельных организаций, а в виде инфраструктуры национальной нанотехнологической сети, представляющей собой совокупность организаций различных организационно-правовых форм, выполняющих фундаментальные и прикладные исследования, осуществляющих разработки и коммерциализацию технологий, деятельность которых в этой области координируется федеральными органами исполнительной власти на межотраслевом уровне.

Важнейшими элементами формируемой инфраструктуры наноиндустрии являются:

приборно-инструментальная и производственно-технологическая составляющая, которая характеризует материально-техническую и метрологическую базы различных направлений развития наноиндустрии;

информационно-аналитическая составляющая, которая обеспечивает координацию работ, полноту и актуализацию сведений о перспективных разработках, технологиях и кадровом потенциале в сфере наноиндустрии в Российской Федерации и за рубежом;

методическая составляющая, которая регламентирует безопасность создания и применения нанотехнологий и наноматериалов, механизмы регулирования развития наноиндустрии, обеспечивает гармонизацию российских и иностранных нормативных и методических документов по обеспечению единства измерений и подтверждения соответствия продукции наноиндустрии.

Формирование инфраструктуры наноиндустрии должно стать важнейшим стратегическим направлением, определяющим новые подходы к преобразованию отечественной высокотехнологичной промышленности, реализуемым по Программе координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2006 г. N 1188-р.

Ряд государственных научных центров и организаций Российской Федерации имеет исторический приоритет, большой задел и находится на высоком международном уровне в сфере разработок и исследований в области некоторых наноматериалов и нанотехнологий. Сформирован также образовательный сегмент высшего профессионального образования, в котором помимо образовательной деятельности осуществляется интенсивная исследовательская работа в указанной сфере.

В рамках федеральных целевых и ведомственных программ осуществляется государственное финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области нанотехнологий, однако в них не предусмотрены необходимые средства на развитие материально-технической базы и иных составляющих инфраструктуры наноиндустрии.

В то же время в части темпов коммерческого освоения нанотехнологий Россия отстает от ряда зарубежных стран. Одной из главных причин такого отставания является отсутствие метрологического обеспечения измерений при разработке и промышленном освоении нанотехнологий и производстве наноматериалов, старение, а по отдельным направлениям развития нанотехнологий — практическое отсутствие научного и специального оборудования, приборов и устройств, отвечающих современным мировым требованиям, а также отставание в развитии других составляющих инфраструктуры наноиндустрии.

Отсутствие поддержки в сфере развития наноиндустрии со стороны государства в создавшихся условиях может привести к тому, что имеющийся сегодня в Российской Федерации существенный научный задел будет либо утрачен, либо использован иностранными конкурентами.

Для решения общих проблем в области наноиндустрии необходимо создать с учетом Программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации инфраструктуру национальной нанотехнологической сети.

II. Цель и задачи Программы, сроки ее реализации, а также целевые индикаторы и показатели

Целью Программы является создание в Российской Федерации современной инфраструктуры национальной нанотехнологической сети для развития и реализации потенциала отечественной наноиндустрии.

Для достижения указанной цели следует решить следующие задачи.

Первой задачей является оснащение специальным экспериментальным, диагностическим, метрологическим, научно-технологическим и производственным оборудованием, иными приборами и устройствами элементов национальной нанотехнологической сети, формируемых на базе государственных органи-

заций, обеспечение эффективной эксплуатации и использования приборно-инструментальной базы в интересах российских научных организаций, образовательных учреждений высшего профессионального образования, выполняющих работы в области нанотехнологий и наноматериалов.

Второй задачей является создание и поддержка функционирования системы обмена информацией между организациями, входящими в состав национальной нанотехнологической сети, в целях повышения эффективности их деятельности, коммерциализации и популяризации знаний в области нанотехнологий и наноматериалов.

Третьей задачей является формирование системы методического обеспечения, регламентирующей безопасность создания и применения нанотехнологий и наноматериалов.

Четвертой задачей является формирование системы методического обеспечения механизмов регулирования развития nanoиндустрии, гармонизирующей российские и международные нормативные и методические документы по обеспечению единства измерений и подтверждения соответствия продукции nanoиндустрии, поддержки экспорта в целях стимулирования процессов коммерциализации нанотехнологий и вывода на внутренний и внешний рынки новой продукции nanoиндустрии.

Решение первой задачи обеспечивается по нескольким тематическим направлениям. В качестве тематических направлений деятельности национальной нанотехнологической сети федеральными органами исполнительной власти определены следующие направления:

- наноэлектроника;
- наноинженерия;
- функциональные наноматериалы и высокочистые вещества;
- функциональные наноматериалы для энергетики;
- функциональные наноматериалы для космической техники;
- нанобиотехнологии;
- конструкционные наноматериалы;
- композитные наноматериалы;
- нанотехнологии для систем безопасности.

В состав национальной нанотехнологической сети входят:

головная научная организация Программы координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации (далее — головная научная организация), которая определена на конкурсной основе, — федеральное государственное учреждение Российский научный центр «Курчатовский институт»;

головные организации отраслей, определяемые федеральными органами исполнительной власти — государственными заказчиками Программы из числа крупных отраслевых специализированных научно-технологических комплексов;

ведущие научно-образовательную деятельность в сфере nanoиндустрии образовательные учреждения высшего профессионального образования, отбираемые на конкурсной основе.

Основными функциями головной научной организации являются: координация исследований и разработок для формирования научно-технологической базы nanoиндустрии;

осуществление комплексной научной и технологической экспертизы мероприятий в области соответствующих исследований и разработок, включая экспертизу достигнутых результатов и определение потенциала их производства и продажи;

экспертиза достигнутых результатов, выявление наиболее продвинутых к коммерциализации разработок, определение их потенциала для производства и реализации на внутреннем и внешнем рынках, подготовка предложений по поддержке имеющихся заделов;

обеспечение связи между фундаментальными и прикладными исследованиями в области нанотехнологий;

координация проектов международного научно-технического сотрудничества;

содействие трансферу результатов исследований и разработок гражданского, двойного и военного назначения;

обеспечение взаимодействия головных организаций отраслей по вопросам научных исследований, коммерциализации технологий, организации серийного производства;

повышение эффективности применения уникального оборудования, обеспечивающего разработку принципиально новых технологий и развитие новых секторов экономики;

комплексное информационно-аналитическое обеспечение, мониторинг и прогнозирование развития nanoиндустрии;

координация работ по стандартизации, сертификации и метрологическому обеспечению, поддержке патентования и лицензирования, оценке безопасности применения новых нанотехнологий и наноматериалов.

Основными функциями головной организации отрасли являются:

решение важнейших проблем развития отраслей nanoиндустрии и освоение секторов наукоемкой продукции, в том числе с ориентацией на мировой рынок;

координация разработок новых технологий, конкурентоспособных на мировом рынке;

экспертиза достигнутых результатов, выявление наиболее продвинутых к коммерциализации разработок, определение их потенциала для производства и продажи на внутреннем и внешнем рынках, подготовка предложений по поддержке имеющихся заделов;

использование передовых базовых нанотехнологий;

координация работ по стандартизации, метрологическому обеспечению и подтверждению соответствия продукции и технологий в отраслях nanoиндустрии;

координация проектов международного научно-технического сотрудничества;

координация проектов трансфера нанотехнологий;

организация и участие в реализации проектов государственно-частного партнерства;

отраслевой мониторинг, включая сбор информации о производстве и продаже продукции наноиндустрии;

интеграция научной и образовательной деятельности в соответствующих отраслях.

Основными функциями ведущих научно-образовательную деятельность в сфере наноиндустрии образовательных учреждений высшего профессионального образования являются:

интеграция научной и образовательной деятельности для подготовки специалистов с высшим образованием всех уровней (бакалавров (с фундаментальной базовой подготовкой), специалистов, магистров, аспирантов и докторантов) и выполнения научных исследований и разработок мирового класса;

обеспечение взаимодействия с академическим и отраслевым секторами науки, включая привлечение ученых и специалистов данных секторов к преподавательской деятельности;

участие в разработке программ обучения и популяризации знаний в области нанотехнологий как единой технологической культуры нового века.

Головная научная организация и головные организации отраслей функционируют одновременно и как центры коллективного пользования, обеспечивающие доступ к исследовательскому и технологическому оборудованию исследователям, выполняющим разработки в сфере наноиндустрии в рамках мероприятий различных профильных федеральных целевых программ.

Перечень головных организаций отраслей по направлениям развития нанотехнологий приведен в приложении N 1.

В рамках решения первой задачи Программы осуществляется приобретение оборудования для оснащения государственных организаций национальной нанотехнологической сети комплексами исследовательского, метрологического и научно-технологического оборудования, комплексами контрольно-измерительного оборудования, в том числе комплексами оборудования для разработки нанотехнологий, изготовления наноматериалов, микро- и наносистемной техники, нанопродуктов, реализации нанобиомедицинских технологий.

Проводится методическое обеспечение в части оптимизации перечней приобретаемого оборудования и способов его использования в интересах не только организаций национальной нанотехнологической сети, но и существенно более широкого круга исследовательских, технологических, образовательных и иных организаций, выполняющих работы для развития наноиндустрии. Проводятся работы, связанные с разработкой требований и нормативов функционирования инфраструктуры национальной нанотехнологической сети, координацией деятельности входящих в нее организаций, с разработкой и утверждением соответствующих регламентов и инструкций по осуществлению доступа к оборудованию научных и образовательных структур в рамках национальной нанотехнологической сети, интеграцией и взаимодействием научных и образовательных подразделений образовательных учреждений высшего профессионального

образования в процессе формирования научно-образовательных комплексов в составе национальной нанотехнологической сети.

Выполняются работы, связанные с осуществлением шефмонтажа и пуска наладочных работ по введению в эксплуатацию оборудования, закупленного в рамках Программы для организаций национальной нанотехнологической сети, а также с подбором, подготовкой и тренингом персонала, осуществляющего эксплуатацию закупленного оборудования.

Создаваемая в рамках решения второй задачи информационно-аналитическая инфраструктура наноиндустрии, в том числе сеть электронно-компьютерного обмена результатами исследований и разработок между элементами национальной нанотехнологической сети, должна стать не только инструментом обмена информацией среди участников Программы, но и способствовать решению более широких задач по координации работ в сфере наноиндустрии. В частности, ее необходимо использовать как:

инструмент управления и координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов, выполняемых в рамках федеральных целевых и ведомственных программ, а также отдельных программ регионального развития и проектов, реализуемых бизнес-сообществом;

инструмент мониторинга Программы;

инструмент коммерциализации наноиндустрии;

инструмент международных научно-технических обменов в сфере наноиндустрии;

инструмент популяризации достижений в области нанотехнологий и наноматериалов.

В рамках второй задачи также осуществляется финансирование приобретения и распространения интернет-контента для наполнения специализированных баз данных в сфере наноиндустрии.

В рамках решения третьей задачи осуществляется разработка методических материалов по оценке и подтверждению соответствия продукции и технологий наноиндустрии требованиям и нормам безопасности различных наноматериалов для здоровья разработчиков, производителей и потребителей наноматериалов.

В рамках решения четвертой задачи:

выполняются работы по обеспечению функционирования центра метрологического обеспечения продукции и технологий наноиндустрии, осуществляется подтверждение метрологических характеристик эталонных средств измерений в наноиндустрии, сличение их с международными и выполнение мероприятий по взаимному признанию результатов калибровок;

разрабатываются методики выполнения измерений, поверки, калибровки и испытаний используемых в наноиндустрии средств измерений, их гармонизация с требованиями международных стандартов в сфере наноиндустрии.

Решение четвертой задачи необходимо осуществлять при тесном взаимодействии с международными организациями, осуществляющими деятельность в области стандартизации и обеспечения единства измерений и качества — Международной организацией по стандартизации, Международной электротехнической

ской комиссией, Международной организацией законодательной метрологии, Международным бюро мер и весов.

Важным элементом государственной поддержки и развития экспортного потенциала российских разработчиков продукции наноиндустрии являются мероприятия по проведению патентных исследований, соответствующих ГОСТу Р 15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения», направленных на определение патентной чистоты закупаемых и поставляемых в рамках Программы оборудования, продукции наноиндустрии (наноматериалов, сырья) и комплектующих изделий.

Для решения задач Программы целесообразно выполнить ее в один этап с 2008 по 2010 год.

Целевые индикаторы реализации мероприятий Программы приведены в приложении N 2.

Прекращение действия Программы наступает в случае завершения ее реализации, а досрочное прекращение — в случае признания неэффективности ее реализации в соответствии с решением Правительства Российской Федерации согласно порядку разработки и реализации федеральных целевых программ и межгосударственных целевых программ, в осуществлении которых участвует Российская Федерация, утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 июня 1995 г. N 594.

III. Мероприятия Программы

Достижение цели и решение задач Программы осуществляется путем скоординированного выполнения мероприятий Программы.

Мероприятия Программы объединены по следующим 4 направлениям.

Направление 1. Развитие приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры наноиндустрии

В рамках этого направления предусматриваются приобретение оборудования для оснащения государственных организаций национальной нанотехнологической сети, его монтаж, а также подготовка квалифицированного персонала для его эксплуатации. Реализации планов по закупке оборудования предшествует комплексный анализ внутреннего и внешнего рынков оборудования в области нанотехнологий, определяется потребность организаций национальной нанотехнологической сети в таком оборудовании, а также подготавливается и согласуется проектно-сметная документация по техническому перевооружению имеющихся площадей под поставляемое оборудование, осуществляется закупка

необходимых материалов и выполняются строительно-монтажные работы по реконструкции помещений организаций национальной нанотехнологической сети для установки закупаемого оборудования.

Указанное направление включает в себя мероприятие по формированию материально-технической базы национальной нанотехнологической сети, включая закупку, поставку, осуществление строительно-монтажных работ, шефмонтажа и пусконаладочных работ по введению в эксплуатацию оборудования для организаций национальной нанотехнологической сети.

Направление 2. Развитие информационно-аналитической составляющей инфраструктуры наноиндустрии

В рамках этого направления осуществляется создание специализированных баз данных для компьютерного обмена информацией при проведении исследований и разработок, в том числе между организациями национальной нанотехнологической сети, а также интернет-порталов, обеспечивающих в режимах регламентированного и открытого доступа решение комплекса задач по информационному и аналитическому обеспечению национальной нанотехнологической сети, выполняются работы по формированию специализированных баз данных по кадровому обеспечению наноиндустрии.

Указанное направление включает в себя следующие мероприятия:
формирование информационной инфраструктуры наноиндустрии;
формирование аналитической и прогнозной инфраструктуры наноиндустрии;
формирование кадровой информационно-аналитической системы наноиндустрии.

Направление 3. Развитие методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии

В рамках этого направления выполняются работы по обеспечению функционирования центра метрологического обеспечения продукции и технологий наноиндустрии, осуществляется подтверждение метрологических характеристик эталонных средств измерений в наноиндустрии, сличение их с международными эталонными средствами и выполнение мероприятий по взаимному признанию результатов калибровок, разрабатываются методики измерения, поверки, калибровки и испытания используемых в наноиндустрии средств измерений, их гармонизация с требованиями международных стандартов в области нанотехнологий и обеспечения безопасности создания и применения объектов наноиндустрии, разрабатываются методические материалы по оценке и подтверждению соответствия продукции и технологий наноиндустрии.

Указанное направление включает в себя следующие мероприятия:

развитие методической составляющей системы обеспечения единства измерений в наноиндустрии и безопасности создания и применения объектов наноиндустрии;

проведение патентных исследований, соответствующих ГОСТу Р 15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения», направленных на определение патентной чистоты закупаемых и поставляемых в рамках Программы оборудования, продукции наноиндустрии (наноматериалов, сырья), комплектующих изделий.

Направление 4. Обеспечение управления реализацией Программы и содержание дирекции Программы

Указанное направление включает в себя проведение работ, связанных с разработкой и утверждением регламентов и инструкций по доступу к приборно-инструментальной и иным составляющим инфраструктуры наноиндустрии, а также сбор, систематизацию и анализ статистической и текущей информации о реализации мероприятий Программы, мониторинг результатов реализации мероприятий Программы, организацию независимой оценки показателей.

Текущее управление реализацией Программы возлагается на дирекцию Программы, содержание которой осуществляется за счет средств федерального бюджета, выделяемых на реализацию Программы.

Указанное направление включает в себя следующие мероприятия:
обеспечение управления реализацией Программы;
содержание дирекции Программы.

Мероприятия Программы приведены в приложении N 3, объемы финансирования Программы по государственным заказчикам и источникам финансирования — в приложении N 4.

Перечень инвестиционных объектов Программы приведен в приложении N 5.

В перечень инвестиционных объектов Программы на основании предложений федеральных органов исполнительной власти и Российской академии наук включены в том числе головная научная организация национальной нанотехнологической сети и организации, являющиеся головными организациями отраслей национальной нанотехнологической сети.

IV. Обоснование ресурсного обеспечения Программы

Финансирование мероприятий Программы предполагается осуществлять за счет средств федерального бюджета и внебюджетных источников.

Расходы на реализацию Программы приведены в приложении N 6 и подлежат уточнению (по годам) в соответствии с утвержденной проектно-сметной документацией. Объем и динамика расходов бюджетных средств на реализацию

Программы определяются характером и временными рамками реализуемых мероприятий. Объемы государственных капитальных вложений для строительства, реконструкции или технического перевооружения объектов национальной нанотехнологической сети увязаны с мероприятиями по тематическим направлениям развития наноиндустрии, которые выполняются организациями национальной нанотехнологической сети.

Финансирование строительства, реконструкции или технического перевооружения объектов, включаемых в Программу, осуществляется в установленном порядке через главных распорядителей бюджетных средств, к ведению которых относятся указанные объекты.

Финансирование мероприятий по формированию материально-технической базы национальной нанотехнологической сети, включая закупку, поставку, осуществление шефмонтажа и пусконаладочных работ по введению в эксплуатацию оборудования для организаций национальной нанотехнологической сети, осуществляют государственные заказчики Программы в соответствии с перечнем инвестиционных объектов Программы, приведенным в приложении N 5 к Программе.

Финансирование мероприятий по развитию методической составляющей инфраструктуры наноиндустрии осуществляют государственные заказчики Программы — Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии и Федеральное агентство по науке и инновациям.

Финансирование других мероприятий Программы и привлечение внебюджетных средств осуществляют государственные заказчики Программы — Федеральное агентство по науке и инновациям и Федеральное агентство по образованию.

Для устойчивого финансирования проектов Программы за счет внебюджетных средств государственные заказчики — Федеральное агентство по образованию и Федеральное агентство по науке и инновациям включают устанавливаемые ими требования в конкурсную документацию и в заключаемые государственные контракты либо иные гражданско-правовые договоры с исполнителями мероприятий Программы, подписывают с соответствующими организациями протоколы (соглашения) о намерениях или получают другие документы, подтверждающие финансирование мероприятий Программы за счет внебюджетных средств.

При недостаточности внебюджетных средств соответствующие расходы на реализацию мероприятий Программы не могут быть осуществлены за счет средств федерального бюджета.

V. Механизм реализации Программы, включающий в себя механизм управления реализацией Программы и механизм взаимодействия государственных заказчиков

Механизм реализации Программы заключается в выполнении всеми государственными заказчиками Программы цикла «планирование — реализация

— мониторинг» показателей и ресурсов для реализации мероприятий Программы по каждому государственному контракту либо иному гражданско-правовому договору. В этой связи формируется детализированный организационно-финансовый план мероприятий по реализации Программы, который уточняется государственным заказчиком — координатором Программы не реже 2 раз в год на основе оценки результативности мероприятий Программы и достижения целевых индикаторов.

Неотъемлемой составляющей механизма реализации Программы является формирование и использование современной системы экспертизы на всех стадиях реализации Программы, позволяющей отбирать наиболее перспективные проекты для государственного финансирования, проводить независимую экспертизу конкурсных заявок с целью выявления исполнителей, предложивших лучшие условия исполнения контрактов либо иных гражданско-правовых договоров, и осуществлять эффективную экспертную проверку качества полученных результатов. Экспертиза и отбор проектов в структурообразующих направлениях Программы основываются на принципах объективности, компетентности и независимости.

Исполнителями мероприятий Программы являются организации, с которыми государственные заказчики заключают государственные контракты либо иные гражданско-правовые договоры по результатам конкурсов в установленном законодательством Российской Федерации порядке.

Министр образования и науки Российской Федерации руководит деятельностью по реализации Программы, несет ответственность за ее выполнение и конечные результаты, рациональное использование выделяемых средств и определяет формы и методы управления реализацией Программы.

Министерство образования и науки Российской Федерации как государственный заказчик — координатор Программы в ходе реализации Программы:

осуществляет контроль за деятельностью государственных заказчиков по выполнению мероприятий Программы;

вносит в Правительство Российской Федерации проекты федеральных законов, нормативных правовых актов Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации и других необходимых для выполнения Программы документов, по которым требуется решение Правительства Российской Федерации;

разрабатывает и принимает в пределах своих полномочий нормативные правовые акты, необходимые для выполнения Программы;

с учетом выделяемых финансовых средств уточняет показатели выполнения Программы и затраты на реализацию ее мероприятий, механизм реализации Программы и состав исполнителей;

составляет организационно-финансовый план мероприятий по реализации Программы;

подготавливает с учетом хода реализации Программы и представляет ежегодно в установленном порядке в Министерстве экономического развития и торговли Российской Федерации сводную бюджетную заявку на финансирование мероприятий Программы на очередной год;

представляет в Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации статистическую, справочную и аналитическую информацию о ходе реализации Программы в целом;

представляет в Министерство финансов Российской Федерации и Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации сведения о заключенных со всеми исполнителями мероприятий Программы государственных контрактах либо иных гражданско-правовых договорах на финансирование мероприятий Программы за счет средств внебюджетных источников, в том числе на закупку и поставку продукции для федеральных государственных нужд;

представляет ежегодно, до 1 февраля, в Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации и Министерство финансов Российской Федерации (по установленной форме) доклад о ходе работ по Программе, достигнутых результатах и эффективности использования финансовых средств;

инициирует при необходимости экспертные проверки хода реализации отдельных мероприятий Программы;

вносит в Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации и Министерство финансов Российской Федерации предложения о корректировке, продлении срока реализации Программы либо о прекращении ее выполнения (при необходимости);

по завершении Программы представляет в Правительство Российской Федерации, Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации, Министерство финансов Российской Федерации доклад о выполнении Программы, включая эффективность использования финансовых средств за весь период ее реализации.

Государственные заказчики Программы с участием Российской академии наук:

участвуют в составлении детализированного организационно-финансового плана мероприятий по реализации Программы;

разрабатывают перечень целевых индикаторов и показателей для мониторинга реализации мероприятий Программы;

обеспечивают эффективное использование средств, выделяемых на реализацию Программы;

организуют ведение ежеквартальной отчетности по реализации Программы, а также мониторинг реализации ее мероприятий;

организуют экспертные проверки хода реализации отдельных мероприятий Программы в рамках выполнения мероприятий Программы;

осуществляют управление деятельностью исполнителей мероприятий Программы в рамках выполнения мероприятий Программы;

осуществляют отбор на конкурсной основе исполнителей работ (услуг), поставщиков продукции по соответствующим мероприятиям Программы, заключение государственных контрактов либо иных гражданско-правовых договоров;

организуют применение информационных технологий в целях управления и контроля за ходом реализации Программы, обеспечение размещения в

сети Интернет текста Программы, нормативных правовых актов по управлению реализацией Программы и контролю за ходом выполнения ее мероприятий, а также материалов о ходе и результатах реализации Программы;

согласуют с государственным заказчиком — координатором Программы и заинтересованными участниками Программы возможные сроки выполнения мероприятий, объемы и источники финансирования;

представляют государственному заказчику — координатору статистическую, справочную и аналитическую информацию о ходе реализации мероприятий Программы;

при необходимости представляют государственному заказчику — координатору Программы предложения о продлении срока реализации Программы либо о ее прекращении;

представляют ежегодно, до 15 января, государственному заказчику — координатору Программы по установленной форме доклад о ходе выполнения работ по Программе, достигнутых результатах и эффективности использования финансовых средств.

В целях обеспечения согласованных действий при реализации Программы создается координационный совет, формируемый из представителей государственного заказчика — координатора Программы, государственных заказчиков, федеральных органов исполнительной власти, научных организаций, образовательных учреждений высшего профессионального образования, независимых экспертов.

Координационный совет возглавляет Министр образования и науки Российской Федерации или один из его заместителей. Положение о координационном совете и его персональный состав утверждаются Министром образования и науки Российской Федерации. Организационное и методическое сопровождение деятельности координационного совета осуществляет Министерство образования и науки Российской Федерации.

Координационный совет осуществляет следующие функции:

выработка предложений по тематике и объемам финансирования заказов на поставки товаров, выполнение работ и оказание услуг в рамках мероприятий Программы;

рассмотрение материалов о ходе реализации мероприятий Программы;

организация проверок выполнения мероприятий Программы, целевого и эффективного использования финансовых средств;

подготовка рекомендаций по более эффективной реализации мероприятий Программы с учетом хода ее выполнения и социально-экономического развития Российской Федерации;

рассмотрение результатов экспертизы содержания и стоимости мероприятий, предлагаемых для реализации в очередном финансовом году.

Дирекция Программы является бюджетным учреждением, формируется государственным заказчиком — координатором Программы.

Дирекция Программы осуществляет следующие основные функции:

собирает и систематизирует статистическую и аналитическую информацию о реализации мероприятий Программы;

организует по поручению государственных заказчиков Программы экспертизу проектов на всех этапах реализации Программы;

организует независимую оценку показателей результативности и эффективности мероприятий Программы, их соответствия целевым индикаторам и показателям;

внедряет информационные технологии и обеспечивает их применение в целях управления реализацией Программы и контроля за ходом выполнения мероприятий Программы, осуществляет информационное обеспечение специализированного сайта в сети Интернет.

Дополнительными функциями по управлению реализацией Программы дирекция Программы может быть наделена государственным заказчиком — координатором Программы на договорной возмездной и (или) безвозмездной основе.

До начала реализации Программы Министерство образования и науки Российской Федерации утверждает положение об управлении реализацией Программы, в котором определяются:

порядок формирования организационно-финансового плана мероприятий по реализации Программы;

механизмы корректировки мероприятий Программы и их ресурсного обеспечения в ходе реализации Программы;

процедуры обеспечения публичности (открытости) информации о целевых индикаторах и показателях, результатах мониторинга реализации Программы, ее мероприятиях и об условиях участия в них исполнителей, а также о проводимых конкурсах и критериях определения победителей.

VI. Оценка социально-экономической и экологической эффективности Программы

По прогнозным оценкам, реализация Программы обеспечит достижение следующих результатов, определяющих ее эффективность:

создание нового поколения наноматериалов и нанотехнологий для использования в ключевых областях науки и техники, ресурсо- и энергосбережении, промышленном производстве, здравоохранении и производстве продуктов питания, а также для поддержания необходимого уровня обеспечения обороноспособности и безопасности государства;

увеличение доли продукции, произведенной с помощью созданной в рамках Программы инфраструктуры наноиндустрии, до 75 процентов общего объема продукции наноиндустрии, произведенной в Российской Федерации;

обеспечение мирового уровня исследований и разработок, оснащенности научно-исследовательским, метрологическим и технологическим оборудованием организаций, работающих в сфере наноиндустрии, и получение при этом организациями — участниками Программы до 80 патентов (в том числе международных) в год;

развитие и реализация российского потенциала наноиндустрии и активное участие Российской Федерации в международной научно-технической кооперации;

создание системы учета информации о результатах научных исследований и технологических разработок в сфере наноиндустрии, полученных организациями различных организационно-правовых форм, обеспечение доступа к этой информации;

совершенствование методической базы научно-технической и инновационной деятельности в сфере наноиндустрии;

создание и ресурсное обеспечение уникальных научных установок, сети центров коллективного пользования уникальным научным и экспериментальным оборудованием;

создание и развитие инновационной инфраструктуры, совершенствование механизма взаимодействия участников инновационного процесса, включая организацию взаимодействия научных организаций и высших учебных заведений с промышленными предприятиями, в целях продвижения новых нанотехнологий и наноматериалов в производство;

сохранение и развитие кадрового потенциала, в том числе создание условий для привлечения и закрепления талантливой молодежи в сфере наноиндустрии, возвращения в Российскую Федерацию ведущих российских ученых и специалистов в сфере наноиндустрии, работающих за рубежом, и их трудоустройства. При этом доля научных сотрудников, имеющих не менее 3 лет опыта проведения исследований и разработок технологий с использованием научного оборудования мирового уровня, в общем числе научных сотрудников организаций национальной нанотехнологической сети составит не менее 70 процентов.

Реализация Программы позволит существенно улучшить экологические показатели и параметры охраны окружающей среды в результате создания новых средств ее защиты и восстановления, основанных на нанотехнологиях и наноматериалах.

В целом реализация Программы обеспечит инновационную активность субъектов экономической деятельности в сфере наноиндустрии, создание необходимой инновационной инфраструктуры, развитие научно-технического и технологического потенциала, позволит создать необходимые предпосылки для дальнейшего научно-технического прогресса и повышения конкурентоспособности российской экономики.

Эффективность расходования бюджетных средств, выделяемых на реализацию Программы, оценивается расширением налоговой базы от реализации потенциала отечественной наноиндустрии за счет обеспечения производства продукции с использованием нанотехнологий.

Коэффициент бюджетной эффективности Программы (отношение бюджетных доходов от налоговых поступлений, связанных с хозяйственной деятельностью участников Программы по реализации мероприятий, в бюджеты всех уровней в течение всего срока реализации Программы к расходам на ее реализацию), рассчитанный на основе исключительно прямых налоговых поступлений, составит 39 процентов.

Оценка эффективности расходования бюджетных средств, выделяемых на реализацию Программы, базируется на основных положениях методических

рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов (утвержденные Министерством экономики Российской Федерации, Министерством финансов Российской Федерации и Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике 21 июня 1999 г. N BK 477).

Общая эффективность Программы оценивается как интегральная оценка эффективности отдельных мероприятий Программы, рассматриваемых как инвестиционные проекты. Методика оценки эффективности Программы приведена в приложении N 7. По каждому мероприятию расчет социально-экономической эффективности осуществляется через определение чистого дисконтированного дохода. При определении бюджетной эффективности Программы по указанной методике были приняты следующие условия:

расчеты произведены с учетом фактора времени путем приведения (дисконтирования) будущих результатов к показателям расчетного года при норме дисконтирования 15 процентов;

расчеты всех экономических показателей произведены в действующих прогнозных ценах каждого года расчетного периода (2008—2010 годы) с учетом индексов-дефляторов, установленных Министерством экономического развития и торговли Российской Федерации до 2009 года для затрат капитального характера.

Индекс доходности (рентабельность) бюджетных средств по налоговым поступлениям составит не менее 2.

Общая оценка вклада Программы в экономическое развитие Российской Федерации заключается в обеспечении эффективного использования бюджетных средств, выделяемых на развитие наноиндустрии, и в решении поставленной Президентом Российской Федерации задачи по созданию Российской корпорации нанотехнологий, в управление которой с 2007 года передаются бюджетные ассигнования в объеме 130 млрд. рублей. Ожидается, что к 2015 году объем продажи российской продукции наноиндустрии составит 250—300 млрд. рублей, объем платежей от экспорта продукции наноиндустрии — 70—75 млрд. рублей.

Приложение N 1
к федеральной целевой программе
 «Развитие инфраструктуры наноиндустрии
 в Российской Федерации
 на 2008—2010 годы»

**ПЕРЕЧЕНЬ
 ГОЛОВНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ОТРАСЛЕЙ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ
 РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

Наименование тематического направления	Головная организация отрасли	Ведомственная принадлежность
1. Нанoeлектроника (в части прикладных и ориентированных научно-исследовательских опытно-конструкторских работ)	федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф.В. Лукина»	Роспром
2. Наноинженерия	государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт электронной техники (технический университет)»	Рособразование
3. Функциональные наноматериалы для энергетики	федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»	Росатом
4. Функциональные наноматериалы для космической техники	федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»	Роскосмос

5. Нанобиотехнологии	федеральное государственное учреждение Российский научный центр «Курчатовский институт»	Роснаука
6. Конструкционные наноматериалы	федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей», федеральное государственное учреждение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов»	Роснаука
7. Композитные наноматериалы	федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»	Роспром
8. Нанотехнологии для систем безопасности	федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики»	ФСТЭК России

Приложение N 2
к федеральной целевой программе
 «Развитие инфраструктуры наноиндустрии
 в Российской Федерации
 на 2008—2010 годы»

**ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ
 ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ
 ИНФРАСТРУКТУРЫ
 НАНОИНДУСТРИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»**

Индикатор	Единица измерения	2008 год	2009 год	2010 год
1. Удельный вес научных, инновационно-технологических, внедренческих и коммерческих организаций обеспечивающих доступ к различным составляющим инфраструктуры наноиндустрии, в общем числе российских организаций, участвующих в исследованиях, разработках и производстве продукции наноиндустрии	процентов	40	70	90
2. Удельная оснащенность (стоимость оборудования) одного сотрудника, занятого в исследованиях и разработках в рамках национальной нанотехнологической сети	тыс. рублей	420	650	860
3. Средний возраст научного и специального оборудования, приборов и устройств головных организаций отраслей в составе национальной нанотехнологической сети	лет	12	8	5

4. Количество организаций, использующих исследовательское, метрологическое и технологическое оборудование в режиме коллективного пользования	единиц	70	100	120
5. Доля молодых ученых (специалистов), работающих в научных инновационных, внедренческих и коммерческих организациях-участниках Программы	процентов	40	60	80
6. Количество созданных новых рабочих мест для высококвалифицированных работников	единиц	500	1500	2500
7. Число студентов и аспирантов, привлеченных к работе (прошедших практику) на новом нанотехнологическом оборудовании	человек	100	150	200

МЕРОПРИЯТИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ
«РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАНОИНДУСТРИИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»

(млн. рублей, в ценах соответствующих лет)

Направление реализации и мероприятий Программы, государственный заказчик Программы	2008—2010 годы — всего			В том числе												
	2008 год			2009 год			2010 год									
	всего	средства федерального бюджета	внебюджетные средства	всего	средства федерального бюджета	внебюджетные средства	всего	средства федерального бюджета	внебюджетные средства							
	капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды								
1. Развитие приборно-инструментальной составляющей инфраструктуры нанопромышленности	16925,7	15245,6	1680,1	7525,2	6782,2	746	5168,4	4653,4	515	4229,1	3810	419,1				
мероприятие по формированию материально-технической базы национальной нанотехнологической сети, включая закупку,	16925,7	15245,6	1680,1	7525,2	6782,2	746	5168,4	4653,4	515	4229,1	3810	419,1				
поставку, осуществление строительно-монтажных работ, шеф-монтажа и пусконаладочных работ по введению в эксплуатацию оборудования для организации национальной нанотехнологической сети	7487	6745	742	3559,8	3207	352,8	2260	2036	224	1667,2	1502	165,2				
ФСТЭК России	874,2	787,6	86,6	446,4	402,2	44,2	270,2	243,4	26,8	157,6	142	15,6				
Роспром	1166,6	1051	115,6	411,8	371	40,8	456,2	411	45,2	298,6	269	29,6				
Роскосмос	777	700	77	222	200	22	277,5	250	27,5	277,5	250	27,5				
Росатом	1097,5	986	111,5	353	318	35	400,4	358	42,4	344,1	310	34,1				
Рособразование	4671,2	4211	463,2	2177	1964	216	1237,7	1115	122,7	1256,5	1132	124,5				
Ростехрегулирование	205,4	185	20,4	77,7	70	7,7	55,5	50	5,5	72,2	65	7,2				
Российская академия наук	643,8	580	63,8	277,5	250	27,5	210,9	190	20,9	155,4	140	15,4				
2. Развитие информационно-аналитической составляющей инфраструктуры нанопромышленности	5618,8	—	4767	851,8	1516,3	—	1270	246,3	1911,3	—	1622	289,3	2191,2	1875	316,2	
мероприятие по формированию информационной инфраструктуры нанопромышленности	1935	—	1642	293	525	—	440	85	662	—	562	100	748	—	640	108

Направление реализации и мероприятий Программы, государственные задания	2008-2010 годы - всего				В том числе											
	2008 год		2009 год		2008 год		2009 год		2008 год		2009 год					
	всего	средства федерального бюджета	всего	средства федерального бюджета	всего	средства федерального бюджета	всего	средства федерального бюджета	всего	средства федерального бюджета	всего	средства федерального бюджета				
	капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды		капитальные вложения	прочие нужды		
Роснаука	1935	—	1642	293	525	—	440	85	662	—	562	100	748	—	640	108
мероприятие по формированию аналитической и прогнозной инфраструктуры на-ноиндустрии	1998,8	—	1695	303,8	549,3	—	460	89,3	672,3	—	570	102,3	777,2	—	665	112,2
Роснаука, Рособразовани	1998,8	—	1695	303,8	549,3	—	460	89,3	672,3	—	570	102,3	777,2	—	665	112,2
мероприятие по формированию кадровой инфраструк-ции нанотехнологической системы нанотехнологии	1685	—	1430	255	442	—	370	72	577	—	490	87	666	—	570	96
Рособразовани	1685	—	1430	255	442	—	370	72	577	—	490	87	666	—	570	96
3. Развитие методиче-ской составляющей инфраструк-туры нанотехнологии	4571,5	—	4315	256,5	1404	—	1325	79	1533	—	1453	80	1634,5	—	1537	97,5
мероприятие по развитию методиче-ской составляющей нанотехнологии	3459	—	3365	94	1074	—	1050	24	1198	—	1170	28	1187	—	1145	42
Роснаука, Ростехре-гулирование	3459	—	3365	94	1074	—	1050	24	1198	—	1170	28	1187	—	1145	42
мероприятие по проведению па-тентных исследо-ваний, соответст-вующих ГОСТ Р 15.011-96*Система разработки и по-становки продук-ции на производ-ство. Патентные исследования. Содержание и по-рядок проведе-ния», направле-ных на определе-ние патентной чистоты закупе-мых и поставле-ных в рамках Про-граммы оборудо-вания, продукции нанотехноло-гии(наноматериалов, сырья), ком-плекующих изде-лий	1112,5	—	950	162,5	330	—	275	55	335	—	283	52	447,5	—	392	55,5
Роснаука	1112,5	—	950	162,5	330	—	275	55	335	—	283	52	447,5	—	392	55,5

Направление реализации инициатив и мероприятий Программы, государственный заказчик Программы	2008—2010 годы — всего				В том числе											
	2008 год		2009 год		2008 год		2009 год		2010 год							
	всего	средства федерального бюджета	вне-бюджетные средства	всего	средства федерального бюджета	внебюджетные средства	всего	средства федерального бюджета	внебюджетные средства	всего						
4. Обеспечение управления реализацией Программы и содержание дирекции Программы	617	617	—	159	159	—	197	197	—	261	261	—				
Роснаука, Росбразование	617	617	—	159	159	—	197	197	—	261	261	—				
мероприятие по обеспечению управления реализацией Программы	330	330	—	69	69	—	100	100	—	161	161	—				
мероприятие по содержанию дирекции Программы	287	287	—	90	90	—	97	97	—	100	100	—				
Итого по Программе	27733	15245,6	9699	2788,4	10607,5	6782,2	2754	1071,3	8809,7	4653,4	3272	884,3	8315,8	3810	3673	832,8

Примечание. Финансирование мероприятий Программы в рамках направлений 2, 3 и 4 осуществляется по подразделу «Другие вопросы в области национальной экономики» раздела «Национальная экономика» функциональной классификации расходов бюджетов Российской Федерации.

Приложение N 4
к федеральной целевой программе
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии
в Российской Федерации
на 2008—2010 годы»

ОБЪЕМЫ
ФИНАНСИРОВАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ
ИНФРАСТРУКТУРЫ НАНОИНДУСТРИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НА 2008—2010 ГОДЫ» ПО ГОСУДАРСТВЕННЫМ ЗАКАЗЧИКАМ
И ИСТОЧНИКАМ ФИНАНСИРОВАНИЯ

(млн. рублей, в ценах соответствующих лет)

	Объем финансирования — всего	В том числе		
		2008 год	2009 год	2010 год
Объем финансирования — всего	27733	10607,5	8809,7	8315,8
в том числе:				
средства федерального бюджета — всего	24944,6	9536,2	7925,4	7483
из них:				
капитальные вложения — всего	15245,6	6782,2	4653,4	3810
в том числе:				
Роснаука	6745	3207	2036	1502
ФСТЭК России	787,6	402,2	243,4	142
Роспром	1051	371	411	269
Роскосмос	700	200	250	250
Росатом	986	318	358	310
Рособразование	4211	1964	1115	1132
Ростехрегулирование	185	70	50	65
Российская академия наук	580	250	190	140
прочие расходы — всего	9699	2754	3272	3673
в том числе:				
Роснаука	5589	1579	1862	2148

Окончание

	Объем финанси- рования — всего	В том числе		
		2008 год	2009 год	2010 год
Рособразование	2427,5	650	825	952,5
Ростехрегулирование	1682,5	525	585	572,5
средства внебюджетных ис- точников — всего	2788,4	1071,3	884,3	832,8
из них:				
капитальные вложения — всего	1680,1	746	515	419,1
в том числе:				
Роснаука	742	352,8	224	165,2
ФСТЭК России	86,6	44,2	26,8	15,6
Роспром	115,6	40,8	45,2	29,6
Роскосмос	77	22	27,5	27,5
Росатом	111,5	35	42,4	34,1
Рособразование	463,2	216	122,7	124,5
Ростехрегулирование	20,4	7,7	5,5	7,2
Российская академия наук	63,8	27,5	20,9	15,4
прочие нужды— всего	1108,3	325,3	369,3	413,7
в том числе:				
Роснаука	654,4	196,7	217,1	240,6
Рособразование	406,9	116,6	138,2	152,1
Ростехрегулирование	47	12	14	21

Приложение N 5
к федеральной целевой программе
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии
в Российской Федерации
на 2008—2010 годы»

**ПЕРЕЧЕНЬ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ
ПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАНОИНДУСТРИИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»**

(млн. рублей, в ценах соответствующих лет)

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008— 2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
1. Федеральное государственное учреж- дение Российский научный центр «Курчатовский институт», г. Москва нанотехнологическая лаборатория на базе комплекса зданий научно- технологического центра нанотехно- логий, центра синхротронного излу- чения, специализированного ней- тронного центра с их реконструкцией (I очередь строительства), г. Москва	5297	2600	1600	1097
2. Федеральное государственное унитар- ное предприятие «Центральный науч- но-исследовательский институт конст- рукционных материалов «Прометей», г. Санкт-Петербург научно-технологический комплекс по разработке конструкционных нано- материалов (реконструкция), г. Санкт-Петербург	1286	550	380	356
3. Федеральное государственное учреж- дение «Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных ма- териалов», г. Троицк, Московская об- ласть				

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
реконструкция и техническое перевооружение здания лабораторного корпуса с пристройкой, г. Троицк, Московская область	162	57	56	49
4. Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики», г. Москва				
научно-исследовательский центр нанотехнологий ФСТЭК России, г. Москва	787,6	402,2	243,4	142
5. Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт физических проблем им. Ф.В. Лукина», г. Москва				
центр высоких технологий на базе инженерно-производственного комплекса с синхротроном «Зеленоград»	949	332	377	240
6. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», г. Москва				
комплекс лабораторий композитных материалов и сплавов, г. Москва	72	19	24	29
техническое перевооружение участков по разработке технологии изготовления шликеров и катодов	30	20	10	—
7. Федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», г. Москва				
центр по применению нанотехнологий в энергетике и электроснабжении космических систем, г. Москва	700	200	250	250

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
8. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», г. Москва				
комплекс по выпуску опытных партий функциональных и конструктивных наноматериалов и изделий на их основе для реализации ядерных энерготехнологий нового поколения, г. Москва	986	318	358	310
9. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт электронной техники (технический университет)», г. Москва				
научно-технологический центр нано- и микросистемной техники (реконструкция)	410	410	—	—
10. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет», г. Владивосток				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
11. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева», г. Самара				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
12. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)», г. Санкт-Петербург				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
13. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», г. Томск				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
14. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский политехнический университет», г. Томск				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
15. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный университет», г. Новосибирск				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
16. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский инженерно-физический институт (государственный университет)», г. Москва				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
17. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», г. Санкт-Петербург				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
18. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)», г. Москва				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
19. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
20. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (технический университет)», г. Санкт-Петербург				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
21 Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», г. Белгород				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	129,5	129,5	—	—
22. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
23. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького», г. Екатеринбург				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
24. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
25. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет», г. Владимир				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
26. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет», г. Москва				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
27. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный технический университет имени В.В. Куйбышева», г. Владивосток				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008—2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
28. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
29. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
30. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный технический университет», г. Пермь				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
31. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева», г. Казань				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008—2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	111,5	—	111,5	—
32. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
33. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
34. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный технический университет — УПИ», г. Екатеринбург				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
35. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
36. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вятский государственный университет», г. Киров				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
37. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
38. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский педагогический государственный университет», г. Москва				

Продолжение

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008–2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,8	—	—	125,8
39. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина», г. Москва				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,7	—	—	125,7
40. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», г. Тамбов				
научно-образовательный центр по направлению «нанотехнологии» (в том числе проектно-исследовательские работы)	125,7	—	—	125,7
41. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений», г. Москва				
центр по метрологическому обеспечению и подтверждению соответствия продукции и технологий нанопромышленности	185	70	50	65

Окончание

	Объем финансирования за счет средств федерального бюджета			
	2008—2010 годы — всего	2008 год	2009 год	2010 год
42. Государственное учреждение «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук», г. Москва				
реконструкция и техническое перевооружение корпуса высоковольтной электронной микроскопии и производственного корпуса	580	250	190	140
в том числе проектно-изыскательские работы	15	15	—	—
Итого по Программе	15245,6	6782,2	4653,4	3810

Приложение № 6
к федеральной целевой программе
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии
в Российской Федерации
на 2008—2010 годы»

**РАСХОДЫ НА РЕАЛИЗАЦИЮ
ФЕДЕРАЛЬНОЙ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ «РАЗВИТИЕ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
НАНОИНДУСТРИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2008—2010 ГОДЫ»**

(млн. рублей, в ценах соответствующих лет)

	2008—2010 годы	В том числе		
		2008 год	2009 год	2010 год
Объем финансирования — всего	27733	10607,5	8809,7	8315,8
в том числе:				
капитальные вложения	16925,7	7528,2	5168,4	4229,1
прочие нужды	10807,3	3079,3	3641,3	4086,7
средства федерального бюджета — всего	24944,6	9536,2	7925,4	7483
в том числе:				
капитальные вложения	15245,6	6782,2	4653,4	3810
прочие нужды	9699	2754	3272	3673
средства внебюджетных источников — всего	2788,4	1071,3	884,3	832,8
в том числе:				
капитальные вложения	1680,1	746	515	419,1
прочие нужды	1108,3	325,3	369,3	413,7

250 руб. 50 коп.

Научное издание

ОКРЕПИЛОВ Владимир Валентинович

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

Дизайн обложки *Т. М. Ивановой*

Книга отпечатана с оригинал-макета, подготовленного
Издательством Политехнического университета.

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005–93, т. 2; 95 3004 — научная и производственная литература

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН.
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская лин., 1.
e-mail: main@nauka.nw.ru
Internet: www.naukaspb.spb.ru

Лицензия ИД № 02980 от 6.10.2000 г.

Подписано в печать 14.10.2008. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16,25. Уч.-изд. л. 10,0. Тираж 200. Заказ 2123.

Отпечатано в Цифровом типографском центре Издательства
Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

ISBN 978-5-02-025339-1



9 785020 253391