

- ❖ создание центров высокоэффективных технологий (Center of Excellency) с государственной поддержкой как базовых для распространения опыта внедрения передовых технологий и оборудования. Для начала необходимо использовать наиболее развитые в этом плане подразделения университетов и институтов НАНУ (общенациональная программа).
- 3. *Приоритеты на ближайшие 20—25 лет:*
- ❖ мобилизация ресурсов на расширение фундаментальных и прикладных исследований для развития высокоприоритетного и глобального направления развития науки и техники — фотоники (общенациональная программа).

1. *Laser Machining by Short an Ultrashort Pulses, State of the Art / J.Meijer, A.Gilner, D.Hoffman, V.Kovalenko, T.Masuzawa et al. // Keynote Paper for CIRP General Assembly (San-Sebastian, 18—25 Aug. 2002), 2002. — 22 p.*

2. *Kovalenko V., Mamalis A., Kolpakov V. WEB-Technologies Application to Increase the Efficiency of Laser Industrial Systems // Proc. of LTWMP-05/ Ed. by prof. B. Paton and prof. V. Kovalenko. — Kiev, 2005, — P. 64—66.*

*В.С.Коваленко*

### **Сучасний стан і перспективи розвитку лазерних методів обробки матеріалів**

*Висвітлено нові досягнення у галузі лазерної техніки і технології, розробки НДІ лазерної техніки і технології НТТУ «КПІ», викладено концепції е-підприємства, яке дозволяє інтегрувати наукові та виробничі ресурси у даній галузі, національної технічної платформи України. Наведено пріоритети, потребуючі особливої уваги і підтримки, в галузі лазерної техніки і технології на найближчі 3—5, 10—15 та 20—25 років.*

*А.В. Рагуля, В.М. Крячек*

## **Развитие нанонаук и нанотехнологий в Украине на перспективу до 2020 г.**

*Статья содержит обзор состояния нанонауки и нанотехнологий в мире и в Украине, названы проблемы, сдерживающие развитие и реализацию нанотехнологий в Украине, минимальные меры, необходимые для реализации нанотехнологий в Украине.*

### **Обзор состояния нанонауки и нанотехнологий в мире и в Украине**

Уровень развития нанотехнологий в той или иной стране становится все более четким индикатором перспектив конкурентоспособности страны в области «хай-тек». В развитых странах с нанотехнологиями связывают новую промышленную революцию и интенсивный рост ВВП. Этот тезис можно проиллюстрировать диаграммой (рис.1).

Глобальный цикл развития бизнеса в области технологий материалов составляет 50—60 лет. Технические инновации, привнесенные новыми материалами, влияют на экономическое развитие и промышленную революцию. Так, предыдущий период ознаменовался созданием материалов для ядерной энергетики и вооружений, космических и авиационных технологий, для электроники и компьютеров, металлургии, нефте- и га-

© А.В. Рагуля, В.М. Крячек, 2006

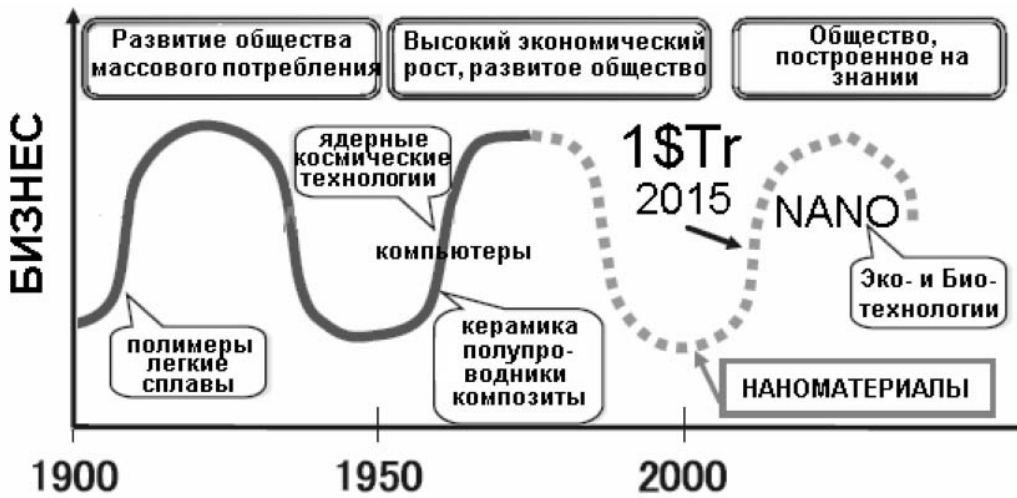


Рис. 1. Цикличность развития инноваций и бизнеса в области технологий материалов [1]

зодобычи и др. В ближайшем будущем инновации в области материалов и технологий принадлежат наноматериалам и нанотехнологиям, и, как ожидается, они не только решат проблемы защиты окружающей среды, здоровья и продления жизни, но также послужат движущей силой безопасного экономического развития. Эта эпоха совпадает по времени с прогнозом создания общества нового

типа — общества, построенного на знаниях. Такое совпадение не случайно, поскольку знания в области нанотехнологий носят мультидисциплинарный характер, а появление на свет новых продуктов и производств проходит контроль в более жестком стандарте мер безопасности. Украина также нуждается в промышленной революции, поскольку значительная доля промышленности выра-

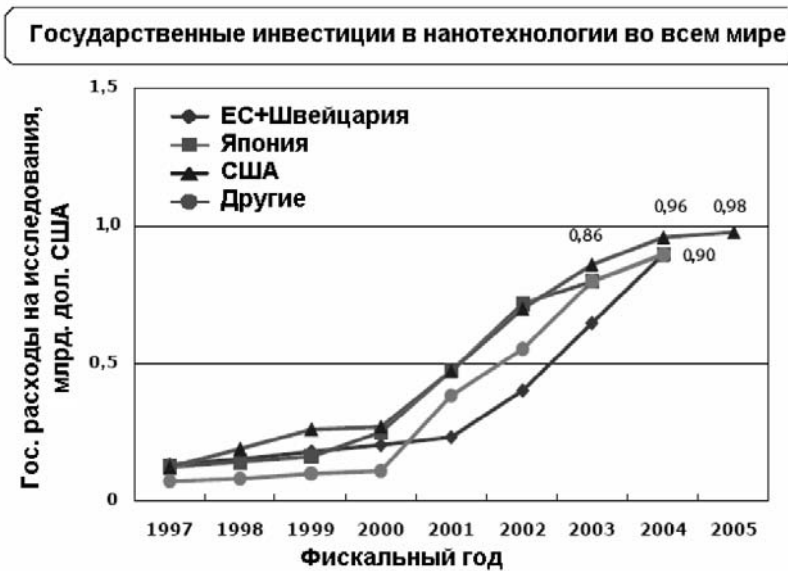
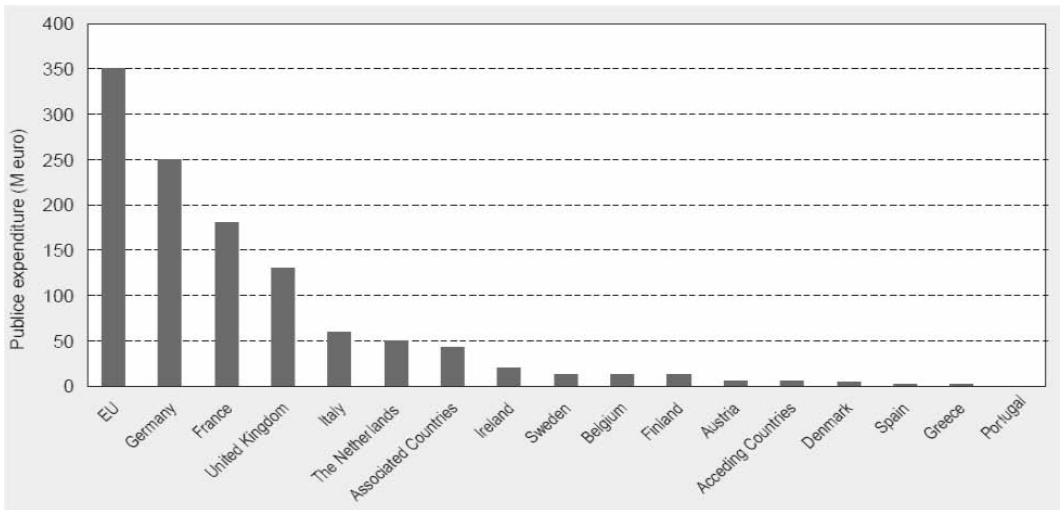


Рис. 2. Государственная поддержка фундаментальных исследований в области нанонаук и нанотехнологий [2]



**Рис. 3. Распределение государственных расходов на нанотехнологии в странах Европы [1]**

батывает ресурс и не может быть возобновлена на принципах прошлых лет.

Отношение к нанотехнологиям в странах мира сильно различается. США, Китай, Япония и Германия стремятся к мировому лидерству в данной сфере, расходуя около 8 млрд. дол. в год (в 2005 г.) на исследования и создание новых технологий и рабочих мест (рис. 2). Еще 2 млрд. дол. расходуют страны остального мира. В США и Японии к государственным ассигнованиям добавляются расходы из местных бюджетов и вклады компаний, что увеличивает сумму в 2–2,5 раза. В США общая сумма финансирования научных разработок по нанотехнологиям близка к 3 млрд. дол. в 2005 г. Европейский Союз тратит около 1,1 млрд. евро (рис.3). Выгода от реализации этих инвестиций весьма внушительная. По американским прогнозам к 2015 году валовой продукт нанотехнологий составит 1 трлн. дол. США, причем большая часть его будет приходиться на долю самих США. Ближайшими конкурентами США в следующие 10 лет будут Германия и Япония, поскольку фундаментальные разработки в этих странах быстро переходят в стадию коммерциализации, в том числе

благодаря развитой индустрии нанотехнологического оборудования и хорошо налаженной системе подготовки специалистов с нанотехнологическим образованием.

Подготовка кадров средней, высокой и высшей квалификации имеет наибольший приоритет среди всех задач развития нанотехнологий на этом этапе. Так, среди достижений Нанотехнологической инициативы (НТИ) США за пять лет (табл. 1) наиважнейшим названо создание системы образования и подготовки экспертов по нанотехнологиям. Система нанотехнологического образования закольцована в 5 сетей на базе университетов, национальных лабораторий и министерств. Под эгидой НТИ созданы 17 университетских центров нанотехнологий, при НАСА — 4, при министерствах энергетики и обороны США центры созданы на базе национальных лабораторий — 5 и 3 соответственно.

Система подготовки предусматривает не только выпуск квалифицированных ученых — разработчиков, но и экспертов, способных оценить опасность новых технологий и их продуктов для общества и окружающей среды.

## Достижения НТИ США за период с 2000 по 2004 г.

Область	Достижения
Исследования	Поддержка более 3500 проектов (университетов и институтов — более 350, частных компаний — более 250 в 2004 г.). Развитие работ и внедрение технологий идет быстрее, чем ожидалось.
Образование	Более 8000 студентов и преподавателей в 2004 г. заняты в учебе по нанотехнологиям.
Сети	Университеты, национальные лаборатории, агентства, департаменты объединены в 5 основных сетей (MCN, NNIN, OKN, DOE и NASA). Более 40000 человек.
Промышленность	Среднесрочные и долгосрочные инвестиции. Участие крупных компаний. Около 1000 новых компаний. США поддерживает уже более 6000 патентов (две трети мировых) в 2004 г.
Экономический эффект	Около 1 трлн. дол. в 2015 г. при ежегодном приросте более 25%.

В Украине, в частности в Национальной академии наук, в 2003 году стартовала ведомственная программа «Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии», трехлетнее выполнение которой позволило, во-первых, провести инвентаризацию работ и разработчиков нанотехнологий, улучшить кооперацию между учеными разных специальностей, поднять рейтинг украинской науки в этой области, организовать чтение нескольких лекционных курсов в различных вузах, закупить несколько единиц уникального оборудования для центров коллективного пользования, например Bruker ЯМР-спектрометр и электронный микроскоп высокого разрешения JEOL 2100 F. Мультидисциплинарная общественность объединяет физиков, химиков, биологов, материаловедов, медиков и некоторых других, всего свыше 1000 исследователей.

Общее финансирование достигло более 8,5 млн. грн. (~1,45 млн. евро) в 2005 г., т.е. менее 1% бюджета НАН Украины. Примерно равную добавку дает финансирование международных грантов в области нанотехнологий, которая составляет около 1,5 млн. евро в год. Этих средств едва ли достаточно для создания сколько-нибудь конкурентного продукта, учитывая трудности концентрации средств внутри программы.

Программа НАНУ развивается по 12 крупным заданиям, сформированным на основе существующей структуры НАНУ с учетом предварительных результатов и опыта ключевых исполнителей:

1. Нанофизика и нанoeлектроника.
2. Технологии многофункциональных наноматериалов.
3. Строение и свойства наноструктурных материалов.
4. Физико-химия поверхностных явлений.
5. Бионаноматериалы: синтез и свойства.
6. Диагностика наносистем.
7. Атомно-молекулярная архитектура наносистем.
8. Физика полупроводниковых наноструктур.
9. Синтез и формирование наноструктур.
10. Коллоидные наноразмерные системы.
11. Тонкопленочные нанотехнологии соединения неорганических материалов.
12. Физика и технология наноматериалов, работающих в экстремальных условиях.

Для сравнения приведем тематику нанотехнологических исследований в Японии. Они проводятся в 10 направлениях:

❖ *Моделирование наноматериалов.*

- ❖ *Технологии измерений в наноразмерном диапазоне и наноразмерного анализа.*
- ❖ *Нанообработка, формование и технологии изготовления.*
- ❖ *Технологии синтеза веществ и материалов.*
- ❖ *Новые материалы с контролируемой наноструктурой.*
- ❖ *Наноприборы и нанодатчики.*
- ❖ *Наноэлектромеханические системы (NEMS) и их технологии.*
- ❖ *Наноматериалы для энергетики и защиты окружающей среды.*
- ❖ *Нанобиология.*
- ❖ *Нанонауки для безопасного и стабильного общества.*

В Европейском Союзе кооперативные усилия были сфокусированы на выполнении трех направлений 6-й Рамочной программы, стартовавшей в 2003 г.:

- ❖ *Нанонауки и нанотехнологии — междисциплинарные фундаментальные исследования новых явлений, обусловленных размером наноструктур.*
- ❖ *Многофункциональные материалы, основанные на знаниях, — фундаментальные и прикладные исследования многофункциональных материалов, дизайн и технологии их изготовления.*
- ❖ *Новые технологические процессы и устройства — создание интеллектуальных систем производства материалов и устройств, гибридных материалов, систем контроля опасностей и отходов производства, оптимизация жизненных циклов промышленных систем, интегрирование нанотехнологий для повышения качества и безопасности жизни.*

Как видно из приведенных данных, независимо сформулированные в разных странах направления исследований совпадают или близки по содержанию, что открывает перспективы международного сотрудничества и интеграции. Фактор соответствия разработок в Украине и в других странах, глобальная интернационализация наноисследований и нанотехнологий в ведущих странах мира — все

это необходимые предпосылки для Украины энергично развивать международный вектор кооперации с такими странами, среди которых могут быть США, страны Европейского Союза (преимущественно Германия и Великобритания), Япония и Корея, а также КНР. Из перечисленных стран инвесторами и спонсорами проектов, вероятнее всего, будут США, Германия и Япония. Сотрудничество может оказаться весьма выгодным, если государство будет финансировать его при соответствующем менеджменте со стороны Украины. В этих же странах целесообразно провести стажировку по нанотехнологиям большого числа молодых исследователей с целью ускорения обучения новой дисциплине.

В табл. 2 приведен прогноз наиболее важных перспективных разработок в Японии и США, которые хорошо коррелируются с результатами опроса экспертов Украины.

В перечень актуальных направлений инновационной деятельности, наиболее результативных в среднесрочной перспективе (3—5 лет), экспертами включены 2 темы по нанопроблеме: «Создание наноструктурных композитов альтернативной энергетики, например солнечные батареи — суперконденсаторы, оксидные топливные ячейки» (4,34 балла по 5-балльной системе) и «Освоение нанотехнологий в оптоэлектронике, средствах медицинской диагностики, в том числе для рентгеновских томографов» (4,32 балла).

При оценке наиболее важных исследований, которые могут серьезно повлиять на экономическое и социальное развитие страны в долгосрочной (15—20 лет) перспективе, эксперты на первое место поставили направление «Разработка нанобиотехнологий и развитие материаловедения для медицины (биоматериалы, совместимые с человеческим организмом), создание комплекса инструментов и элементов устройств и приборов медицинского назначения. Разработка новых медицинских диаг-

ностических систем» (4,64 балла). Второе место (4,42 балла) за направлением «Разработка наноприборов, нанороботов (наноботов), в том числе для хирургических операций в сосудах и отдельных клетках организма».

Из представленного списка виден значительный потенциал для сотрудничества с развитыми странами. Важно украинской стороне финансировать соответствующие проекты хотя бы на среднеевропейском уровне.

Таблица 2

**Прогноз реализации прорывных нанотехнологий в США и Японии на 20 лет**

Срок массовой реализации, год	Срок реализации технологии, год	Темы	Области использования	Рейтинг
2018	2012	Сверхпрецизионные технологии (получения, обработки, анализа, тестирования, мониторинга на месте) с погрешностью в ангстрем, что достигается через новые лучевые технологии (ионная, электронная, лазерная и пр.)	Производство, нанообработка, микрообработка материалов	34
2019	2013	Технологии формования и обработки с нанометровой точностью	Нанотехнология материалов, нанообработка, формование и другие технологии	41
2020	2012	Крупногабаритные солнечные батареи на основе аморфного кремния с эффективностью более 20 %	Нанотехнология материалов, новые материалы с контролем на наноуровне	56
2020	2012	Диагностические системы на основе биочипов, которые могут с высокой точностью диагностировать склонность к заболеванию раком и другими серьезными заболеваниями и обеспечивать информацией о необходимой обработке и в течение очень короткого времени	Нанотехнология материалов, нанобиология	66
2020	2013	Технологии трехмерной атомно-молекулярной сборки	Нанотехнология материалов	91
2021	2013	Технологии сборки и создания оборудования со сверхмалым износом для самого широкого применения	Нанотехнология, нанообработка, наносборка	50
2022	2013	Производство водорода посредством фотокаталитического разложения воды под действием солнечного света	Нанотехнология материалов, материалы энергетики, экологически безопасные	63
2022	2013	Создание систем наноносителей, которые управляемы извне и способны доставлять лекарства и гены в заданные клетки в теле	Нанотехнология материалов, нанобиология	100
2028	2018	Технологии изготовления материалов с инновационными функциями и свойствами путем управляемых манипуляций на наноуровне атомно-молекулярной сборкой или структурой материала	Нанотехнология, нанообработка, наносборка	70
2020	2013	Разработка новых систем вооружений и безопасности на основе нанотехнологий		100

***Проблемы, сдерживающие развитие и реализацию нанотехнологий в Украине:***

- ❖ Недостаточная база знаний и нехватка подготовленных специалистов. Все развитые страны интенсивно готовят молодых специалистов для нанотехнологической деятельности (включая менеджмент), в Украине все это находится в зачаточном состоянии.
- ❖ Недостаточная инструментальная база нанотехнологий. Сотни фирм за рубежом разрабатывают новую экспериментальную и технологическую аппаратуру, включая проектирование чистых лабораторий и цехов с высоким уровнем автоматизации и роботизации. В Украине единичные лаборатории работают в стандарте «High Tech».
- ❖ Относительная дороговизна новых технологических решений: дорогое сырье, технологическое оборудование, системы тестирования и сертификации продукта. В Украине отношение к нанотехнологиям двоякое: в среде ученых большая часть специалистов высшего уровня признают необходимость создания и развития конкурентоспособных нанотехнологий и пытаются создавать интеллектуальный и материальный продукт. Значительная часть ученых полагают, что нанотехнологии — явление временное, которое мало что даст и скоро сойдет на «нет». Среди предпринимателей понимание актуальности нанотехнологий не достигнуто вследствие отсутствия информационной среды и специальных образовательных программ в вузах по данной дисциплине и смежным специальностям. Ни один из вузов Украины не ведет планомерной подготовки по курсам наноинженерии и нанотехнологий. Для преодоления этой инерции в бизнесе, образовании и науке нужно осуществить хотя бы минимальные меры.

***Минимальные меры, необходимые для реализации нанотехнологий в Украине:***

- ❖ Ключевая двуединая задача — развить образование в области нанотехнологий и технически переоснастить лаборатории.
- ❖ Создать государственную мультидисциплинарную программу «Нанонауки и нанотехнологии» и через Фонд фундаментальных исследований локализовать средства в размере 150—170 млн. грн./год на ближайшие 5 лет. Часть средств пустить на сотрудничество со странами—участниками 7-й Рамочной программы ЕС и на двухсторонние программы с Японией, Германией и США.
- ❖ Программу увязать с другими глобальными приоритетными программами развития науки и технологии в Украине: здоровья нации, чистой окружающей среды, новых энергодобывающих и энергосберегающих технологий, обеспечения безопасности страны, биотехнологий в сельском хозяйстве.
- ❖ В ведущих вузах Украины организовать подготовку студентов по курсам «Наноматериалы», «Нанотехнологии» и создать 3—4 первоначально оснащенных совместных (МОН—НАНУ) учебно-научных центров (например в Киеве, Харькове, Донецке и Львове) для подготовки магистров, специализирующихся по материаловедению и нанотехнологиям. Бюджет каждого центра должен составить не менее 20 млн. грн./год, из которого не менее 80% будет расходоваться на оборудование и обустройство обучения и научно-исследовательского дела. Купить и выпустить учебники по специальности «Нанонауки и нанотехнологии».
- ❖ Всемерно развивать международную кооперацию по нанотехнологиям и вести подготовку молодежи за рубежом.
- ❖ Закупить исследовательское оборудование, создавать новую экспериментальную и технологическую ап-

паратуру в стандарте «High Tech». Привлекать средства министерств, местных бюджетов, национальных и зарубежных инвесторов, например для нужд защиты экологии городов, медицинского обслуживания населения.

1. Kishi T. Materials Science Outlook in 2005 / NIMS. — Tsukuba, Japan, 2005. — P. 2—10.
2. Mid- and Long-term Research and Development Strategies for Nanotechnology. Materials Science Field in Japan: Report to Nanotechnology / Materials Science Committee. Subdivision on R&D Planning and Evaluation, Council for Science and Technology, MEXT-2005.

*А.В.Рагуля, В.М.Крячек*

### **Розвиток нанонаук та нанотехнологій в Україні у перспективі до 2020 р.**

*Стаття містить огляд стану нанонауки та нанотехнологій у світі та в Україні, названо проблеми, які стримують розвиток і реалізацію нанотехнологій в Україні, мінімальні заходи, потрібні для реалізації нанотехнологій в Україні.*

*В.Л. Перевертайло*

## **Проблемы и задачи развития технологий микроэлектроники в Украине**

*Показаны выгоды, даваемые микроэлектроникой современной экономике, неудовлетворительное состояние данной отрасли в Украине. Внесены предложения по формированию национальной программы развития микроэлектроники и ее возможных разделах.*

Сегодня экономика развитых стран мира базируется на высоконаучных технологиях и отраслях промышленности, среди которых ведущее место занимает электронная промышленность и в первую очередь микроэлектронные и оптоэлектронные технологии и изделия. Эти направления определяют технический уровень промышленной и бытовой продукции и ее конкурентоспособность, обеспечивают процесс электронизации и информатизации всех сфер жизнедеятельности общества, что является основой инновационной экономики и экономики знаний.

Современные информационные системы на 70% своей стоимости базируются на изделиях микроэлектроники, в частности средства связи — на 60%, стоимость гражданского самолета на

50% состоит из стоимости электронного оснащения, а военного — на 70%.

Каждый вложенный в микроэлектронику доллар приносит 20 долларов прибыли и создает в 3 раза больше рабочих мест, чем другие области промышленности. В таких странах, как Корея, Китай, Индия, страны Юго-Восточной Азии, развитие отечественной электронной промышленности рассматривается в качестве наиболее эффективного способа подъема всей промышленности и вхождения в мировой рынок.

В военной сфере высокоточные системы электронного наведения и средства доставки с воздуха принципиально изменили стратегию и тактику военных действий, что ярко продемонстрировано в войнах последнего десятилетия. Противостоят агрессору в таких усло-