

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРАНАХ ЕВРОСОЮЗА И ЯПОНИИ

МАТЮШЕНКО И. Ю.

кандидат технических наук

МОИСЕЕНКО Ю. Н.

соискатель

Харьков

Нанотехнологические исследования и разработка нанотехнологий фактически начали осуществляться в большинстве развитых стран с начала 90-х годов, но уже к началу XXI века мировое сообщество признало, что нанотехнологии принесут радикальные изменения во многих сферах научно-технической деятельности. Как следствие, были разработаны целевые государственные программы поддержки развития нанотехнологий, которые соответственно финансировались бюджетом.

1. Направления развития нанотехнологий в мире

Еще в начале 90-х годов эта область разработок получила статус приоритетного развития США. Например, в 1995 году в соответствии с программами фундаментальных исследований Министерства обороны США работы в области наноинженерии были определены в рамках отдельного приоритетного направления (Strategic Research Area (SRA)). В Японии крупномасштабные и долгосрочные нанотехнологические проекты были развернуты в 1992 году.

Государственные расходы ведущих стран мира на наноинженерию и нанотехнологии в 1997 году составили: в США – 116 млн долл. США (из них 27% в интересах Ми-

нобороны); в Японии – 128 млн долл. США; в Западной Европе – 120 млн долл. США [1, с. 412].

По данным специального комитета американского Центра оценки мирового состояния технологий (World Technology Evaluation Center, WTEC), который отслеживал и анализировал в период 1996 – 1998 гг. развитие нанотехнологий в различных странах по шести основным направлениям, а также выпускал для научных, технических и административных специалистов США обзорные информационные бюллетени об основных тенденциях развития и достижениях, приоритеты распределились следующим образом (табл. 1) [1, с. 84].

К началу 2000 года США заняли лидирующие позиции в области формирования и сборки наноструктур, разделяя с Европой лидерство в создании наноструктурных покрытий и наномасштабной биологии. Япония же достигла лидерства в области разработок наноприборов и наноструктурных материалов повышенной прочности.

Приблизительная оценка правительственных расходов ведущих стран мира на нанотехнологические НИОКР, проведенная представлена в табл. 2 [2, с. 111].

Из табл. 2 видно, что к 2001 году государственные расходы США и Японии на цели развития нанотехнологий почти сравнялись. Именно между этими двумя странами развернулось основное соперничество в данной области. По оценкам специалистов Национального научного фонда США (NSF) в 2001 году на исследования и внедрение нанотехнологий в мире было затрачено около 50 млрд долл. [3, с. 298].

Таблица 1

Распределение приоритетов исследований в наноинженерии и нанотехнологии в США, Японии, странах Западной Европы

№ п/п	Область научно-технических исследований	Распределение приоритетов		
		1	2	3
1.	Синтез и сборка	США	Европа	Япония
2.	Биология и связанные с ней приложения	США/Европа	Япония	
3.	Дисперсные системы и покрытия	США/Европа	Япония	
4.	Материалы с развитой поверхностью	США	Европа	Япония
5.	Наноприборы	Япония	Европа	США
6.	Консолидированные материалы	Япония	США/Европа	

Таблица 2

Рост расходов на исследования в сфере нанотехнологий в странах мира

№ п/п	Страна или регион	Официальные бюджетные ассигнования (в млн долл. США)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2003
1	Япония	120	157	250	465	720	800
2	США	116	255	270	465	697	774
3	Европа (ЕС + Швейцария)	128	165	200	225	400	650
4	Остальные страны (Австралия, Канада, Китай, страны СНГ, Израиль, Корея, Сингапур, Тайвань и т. д.)	70	96	110	380	550	800
	Общие расходы	434	673	830	1535	2367	3024

Вто же время, уже к 2005 году значительно расширился круг стран-участников «наносообщества». Об этом свидетельствуют результаты анализа, проведенного фирмой «Lux Reseach» [13], по данным которой в 2005 году НТ-исследования и разработки осуществлялись в 51-й стране мира. 14 из этих стран, квалифицированных авторами анализа в качестве наиболее продвинутых, были, в свою очередь, разбиты на 4 перечисленные ниже группы, исходя из масштабов бюджетного финансирования, научно-технического потенциала, количества публикаций и возможностей реализации достижений:

Группа I – США, Япония, ФРГ и Южная Корея (авторы называют их «безусловными лидерами»);

Группа II – Тайвань, Израиль и Сингапур (страны с небольшим населением, активно развивающие нанотехнологию, которые авторы анализа образно именуют «игроками ниши», подразумевая их возможное преимущество лишь в узких направлениях);

Группа III – Великобритания и Франция (страны, именуемые «башнями из слоновой кости», которые обладают высоким научно-техническим потенциалом, но пока очень «скромны» в развитии технических приложений);

Группа IV – Китай, Канада, Австралия, Россия, Индия. Необходимо особо подчеркнуть стремление Китая перейти в группу «безусловных лидеров». В Китае быстро растет бюджетное финансирование НТ-исследований (в 2003 г. – 100 млн долл., в 2004 г. – 200 млн долл.). Стоит отметить и стремительный рост числа журнальных публикаций: по данным Science Citation Index в 2004 году Китай по числу научных публикаций вышел на второе место в мире, обогнав такие страны, как Япония, ФРГ и др. [4].

Россия, по результатам исследований «Lux Reseach», в мировом НТ-рейтинге занимает пока достаточно скромное место. Это было связано с крайне слабым финансированием военной и гражданской науки вплоть до 2007 года. В 2004 году Россия по числу публикаций была на 8-ом месте (в 1994 г. – на 7-ом) [14], а масштаб финансирования НТ-исследований составил в 2005 г. лишь 1,4 млрд руб.

В 2004 году по некоторым оценкам, в сфере нанотехнологий:

1) на исследования правительствами разных стран было потрачено более 1,0 млрд долл. США. В 2006 году эта цифра превысила 2,0 млрд долл. США, при-

чем столько же на подобные исследования потратили частные компании;

2) мировые инвестиции в этом же году значительно возросли и достигли \$10 млрд. На долю частных доноров – корпораций и фондов – пришлось примерно \$6,6 млрд инвестиций, на долю государственных структур – около \$3,3 млрд. Мировыми лидерами по общему объему капиталовложений в этой сфере стали Япония и США;

3) суммарная стоимость продукции, выпущенной на основе наноматериалов и нанотехнологий, по оценкам научно-исследовательской компании NanoMat (Карлсруэ, Германия) превысила 26,5 млрд долл. США [3, с. 262]:

По данным Экспресс-бюллетеня «ПерсТ» («Перспективные технологии: сверхпроводники, фуллерены, наноструктуры»), объемы финансирования наноисследований и разработок в мире за 2004 г. увеличились почти на 18% и оцениваются в \$8,8 млрд, для сравнения, в 2003 г. — \$7,5 млрд (табл. 3). Число зарегистрированных патентов в области нанотехнологий с 1976 г. — 88546, из которых 64% — патенты США.

По мнению старшего аналитика в области нанотехнологий Национального научного фонда США Михаила Роко, пик интенсивности научных исследований в сфере нанотехнологий будет достигнут в 2010 году, а их крупномасштабное внедрение состоится примерно в 2015 году. Специалисты этого фонда спрогнозировали, что если общий рынок нанотехнологий в 2006 году оценивался примерно в 300 млрд долл. США, то в 2015 году рынок нанопродуктов и нанотехнологий достигнет величины 1 трлн долл. США в год. А аналитики агентства «Lux Reseach» в 2005 году предсказали, что эффект от внедрения нанопродуктов и нанотехнологий к 2015 году будет равен 2,5 трлн долл. США [3, с. 298].

Прогноз рынка нанотехнологий (на основе различных источников) приведен в табл. 4 [5, с. 59].

Как видно из табл. 4, прогнозы значительно отличаются: от роста до 1 трлн долл. США до заметного сокращения рынка нанотехнологий в мировом масштабе. Это связано, во-первых, с мировым кризисом, а вторых, с позицией Европарламента по вопросу применения нанотехнологической продукции в косметической отрасли и в медицине, где как раз наблюдаются наиболее высокие объемы производства и продаж.

Таблица 3

Финансирование наноразработок в мире в 2004 году

№ п/п	Страна	Источник финансирования	Объем финансирования, млрд долл.
1	США	Федеральный бюджет	1,6
		Частный бизнес	1,7
2	Европейский Союз	Правительственное финансирование	1,3
		Частный бизнес	0,7
3	Страны Азии	Правительственное финансирование	1,6
		Частный бизнес	1,4
4	Россия	Все правительственные каналы: Минпромэнерго, Минобрнауки, РАН, РФФИ и другие	Несколько десятков млн долл.

Источник: Экспресс-бюллетень «ПерсТ»

Таблица 4

Прогноз рынка нанотехнологий

№ п/п	Экспертный орган	Прогнозируемый период	Объем рынка, трлн долл США
1	Еврокомиссия	2010	0,80
2	Kamei	2010	0,15
3	Mitsubishi Institute	2010	0,15
4	CMP Cientifica	2012	2,00
5	National Science Foundation, USA	2015	1,50
6	Lunkett Research	2012 – 2015	1,00
7	Lux Research	2014	2,60
8	US Nanobusiness Alliance	2015	1,00
9	Правительство РФ	2017	0,30

Сегодня нанотехнологии используются в производстве как минимум 80 групп потребительских товаров и свыше 600 видов сырьевых материалов, комплектующих изделий и промышленного оборудования. На полученную с применением нанотехнологий продукцию приходится около 0,01% мирового ВВП, а к 2015-му году этот показатель может составить уже 0,5 – 0,7%. Крупнейшими потребителями нанотехнологий являются компании по охране окружающей среды (56% общего объема рынка), электроники (20,8%) и энергетики (14,1%) [6].

Так, например, особенно быстро в течение ближайших 10–15 лет будут развиваться перечисленные ниже секторы рынка [7, 8]:

- в промышленности – материалы с высокими заданными характеристиками, которые не могут быть созданы традиционным способом, могут занять рынок объемом 340 млрд долл. / год в ближайшие 10 лет;

- в электронике и полупроводниковой промышленности объем рынка нанотехнологичной продукции может достигнуть 300 млрд долл. /год в ближайшие 10–15 лет;

- в фармацевтической отрасли около половины всей продукции будет зависеть от нанотехнологий. Объем продукции с использованием нанотехнологий составит более 300 млрд долл. /год в ближайшие 10–15 лет;

- в химической промышленности наноструктурные катализаторы имеют применение при производстве бензина и в других химических процессах, с приблизительным ростом рынка до 180 млрд долл. /год. По прогнозам экспертов рынок таких товаров растет на 10% в год;

- в транспорте применение нанотехнологий и наноматериалов позволит создавать более легкие, быстрые, надежные и безопасные автомобили. Рынок только авиакосмических продуктов может достичь 70 млрд долл. /год к 2010–2012 годам;

- в сфере здравоохранения использование нанотехнологий может позволить помочь увеличить продолжительность жизни, улучшить ее качество и расширить физические возможности человека;

- в сельском хозяйстве и в сфере защиты окружающей среды применение нанотехнологий может увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, обеспечить более экономичные способы фильтрации

воды и позволит ускорить развитие возобновляемых источников энергии, например, таких как высокоэффективная конверсия солнечной энергии. Это позволит снизить загрязнение окружающей среды и экономить значительные средства. Так, по прогнозам ученых применение нанотехнологий в сфере использования энергии света через 10–15 лет может снизить потребление энергии в мире на 10%, предоставить общую экономию 100 млрд долл. /год и соответственно сократить вредные выбросы углекислого газа в размере 200 млн тонн.

По словам Ричарда Аппельбаума из Центра нанотехнологий при Университете Калифорнии (Center for Nanotechnology in Society, CNS), оборот рынка нанопродукции в 2014 году может достигнуть 14 трлн долл., что равноценно 15% общего выпуска товаров в мире.

А как отметил Президент России Д. А. Медведев на открытии Второго Международного форума и выставки по нанотехнологиям Rusnanotech-2009, по прогнозам экспертов, буквально через пять лет (к 2015 году) рынок нанотехнологической продукции вырастет до 2–3 трлн долларов, что сделает его сопоставимым с мировым рынком энергоносителей.

Следует отметить, что, несмотря на мировой экономический кризис, рынок нанотехнологической продукции, по сравнению с другими отраслями, пострадал в значительно меньшей степени и продолжает стремительно развиваться.

В ближайшем будущем, по оценкам Research Techart, наибольшим спросом будут пользоваться не только простейшие наноматериалы (фуллерены, нанотрубки, нанопроволоки, нанопористые материалы, наночастицы, наноструктурированные металлы), но и такие новые формы наноматериалов, как вискеры (нанотрава), дендримеры и квантовые точки. Значительный скачок ожидается в разработке, изготовлении и продажах исследовательского и специального нанотехнологического оборудования, наноэлектромеханических систем для наноэлектроники, а также бионанотехнологий для медицинской и косметической промышленности, для производства пищевых продуктов [5, с. 61].

2. Обзор развития нанотехнологий в странах Евросоюза

В Европе более чем в 40 лабораториях проводятся нанотехнологические исследования и разработки, финансируемые как по государственным, так и по международным программам (в частности, по программе НАТО по нанотехнологиям). Правительства и частный сектор все больше принимают нанонауку как источник новых технологий и процветания. Поэтому сфера наноматериалов получает огромные фонды от частных предприятий и правительств.

Ежегодно количество научных публикаций по нанотехнологической проблематике в ЕС составляет сегодня не менее 12 000, что не на много уступает США (около 15 000 статей). А самыми цитируемыми изданиями, публикующими научные статьи в области нанотехнологий, являются мультидисциплинарные Science в США и Nature в Европе.

Для координации процесса становления и развития нанотехнологий в 2002 году в Европе была создана некоммерческая организация «Европейская ассоциация нанобизнеса» (ENA), основная цель которой – содействие развитию сильной и конкурентоспособной европейской промышленности, базирующейся на использовании нанотехнологий. Главная миссия ENA заключается в обеспечении профессионального развития нанобизнеса в ЕС. Государственная поддержка нанотехнологий в европейских странах, по данным за 2004 год, составила около 1,3 млрд долларов.

В 2004 году крупные европейские компании, в частности, Philips, Nokia, Ericsson, AMD и IBM, приняли решение о ежегодном инвестировании не менее 6 млрд долларов на переход от микро- к нанотехнологиям, чтобы Европа оставалась технологическим лидером. В 2004 году был создан Европейский совещательный совет в области наноэлектроники (European Nano-Electronics Initiative Advisory Council), который сформулировал основные научно-исследовательские цели [3, с. 272–273]:

- поддержка европейских исследований и инвестиции в наноэлектронику;
- ускорение инноваций и использования научно-исследовательских технологий;
- повышение эффективности и конкурентоспособности европейской наноэлектроники;
- устранение препятствий для координации и ускорения выхода на рынок новых технологий;
- сбалансированное развитие инноваций и планирования с согласованием новых технологий и регуляторной политики Евросоюза;
- повышение привлекательности Евросоюза для науки и промышленности;
- повышение уровня восприятия и признания нанотехнологий в обществе.

В рамках европейской программы Network of Excellence в консорциуме Nano2Life объединили свои усилия около 200 ученых, 23 организации и 12 стран с промышленными партнерами с целью определить широкий круг региональных центров, дисциплин, квалификации и опыта для решения нанотехнологических задач. Консорциум Nano2Life функционирует с 2004 года и на его основе создается Европейский институт бионанотехнологий. Одна из его основных целей – поддержка совместных научно-исследовательских проектов для выполнения четырех основных задач: функционирования, обнаружения, интеграции наноструктур и управления ими. Начиная с апреля 2004 года было создано около 30 научно-исследовательских проектов, финансируемых Евросоюзом.

В консорциуме Nano2Life участвуют организации из Дании, Германии, Греции, Франции, Швеции, Израиля, Австрии и многих других стран. В его деятельности принимают активное участие многие известные промышленные компании и недавно возникшие стартапы.

В мае 2006 года на первом учредительном совещании, организованном Институтом нанотехнологий (Institute of Nanotechnology), впервые были рассмотрены многие вопросы, касающиеся производства и ис-

пользования наночастиц в экономике государств Европы. Потребность предприятий в новых нанотехнологиях стремительно растет, но как для производителей, так и для потребителей разработок остается множество нерешенных вопросов.

На сегодняшний день рамочные программы ЕС (РП) по исследованиям и разработкам являются основным инструментом взаимодействия исследователей ЕС. Именно эти программы формируют стройную систему приоритетных направлений развития научно-технологической сферы ЕС с четкой иерархией подтем, которые определяют цели и задачи каждого конкурса РП, в которых могут брать участие на правах «третьей страны» и украинские ученые [9].

В статистических данных Евросоюза финансирование расходов на нанотехнологиям скрыто в различных статьях 4-й и 5-й Рамочных программ научно-технических исследований, технологического развития и демонстрации (1994–1998, 1998–2002).

В 6-ю Рамочную программу (2002 – 2006) уже была введена специальная тематическая область под длинным названием «Нанотехнологии и нанонауки, многофункциональные материалы, новые производственные процессы и устройства», четырехгодичный бюджет которой составил 1,3 млрд евро [10]. Из этой суммы примерно 25 – 30% предназначались нанотехнологиям, не считая расходов на наноисследования, связанные с другими крупными тематическими разделами (науки о жизни, информатика и т. д.), что дает общую цифру 700 млн евро (на четыре года), соответствующую ежегодному финансированию в размере 175 млн евро [11]. Кроме того, Европейская ассоциация нанобизнеса опубликовала официальные данные по некоторым программам Евросоюза, из которых видно, что около 30% расходов имеют какое-либо отношение к нанотехнологиям, что позволило повысить оценку годового финансирования наноисследований и считать его равным 850 млн евро (на четыре года).

Действующая сегодня Седьмая Рамочная программа (РП7) исследований и технологического развития ЕС рассчитана на 7 лет (2007 – 2014 гг.) и имеет увеличенный вдвое по сравнению с РП6 бюджет каждого года реализации. В рамках РП7 наиболее важную часть (свыше 32 млрд евро) от общего бюджета (около 53 млрд евро) выделено на программу «Сотрудничество», которая предусматривает возможность финансирования сотрудничества с учреждениями третьих стран (например, из Украины) в рамках проектов по следующим (увеличенным по сравнению с РП6) приоритетным направлениям [16]: здоровье; продукты питания, сельское хозяйство и биотехнологии; информационные и коммуникационные технологии; нанонауки, нанотехнологии, материалы и новые производственные технологии; окружающая среда (включая изменения климата); транспорт (включая аэронавтику); космос; социально-экономические науки; безопасность.

Конечно, официальные данные отражают лишь часть затрат на НИОКР в области нанотехнологий, но они могут служить основой для более полной оценки,

учитывающей долевое участие в финансировании, и дополнительные вложения. Например, для Евросоюза размер дополнительно вложенных средств составляет около 700 млрд евро в год [11]. Кроме того, статистика не учитывает, что многие предприятия и фирмы (особенно крупные межнациональные корпорации) часто проводят значительные по масштабу НИОКР в этой сфере совершенно самостоятельно, а затем вкладывают капиталы в венчурные (start-up) компании по производству нанотехнологических изделий или материалов.

В отличие от США, выработавших обширную и подробную программу нанотехнологических исследований, европейские страны избрали стратегию независимого развития (табл. 5) [2, с. 109 – 110].

Например, в ФРГ тематика нанотехнологических исследований в центрах, создаваемых федеральным Министерством по образованию и науке (МОНИТ) с 1998 года (в 2002 году численность персонала в каждом из таких центров составляла от 53 до 113 человек), была следующей [12]:

- создание наноструктур;
- нанооптоэлектроника;
- нанохимия;
- создание сверхтонких функциональных слоистых структур;
- наноаналитические методы;
- сверхточная механическая обработка поверхностей;
- нанотехнологические материалы.

Таблица 5

Развитие нанотехнологических исследований в странах Европы к началу 2000 года

Страна	Состояние нанотехнологических исследований
Германия	<ul style="list-style-type: none"> – Исследования по нанотехнологии поддерживаются Министерством образования, науки, исследований и технологий (МОНИТ); – Исследовательские центры по нанотехнологии созданы в Институте Фраунгофера, Институте Макса Планка и во многих университетах; – В 1998 году МОНИТ создало 5 новых крупных исследовательских центров, связанных с нанотехнологиями; – Начиная с 1997 года, МОНИТ выделяет на развитие нанотехнологий примерно по 50 млн долларов в год.
Англия	<ul style="list-style-type: none"> – Исследования по нанотехнологии поддерживает Совет по физико-техническим исследованиям (EPSRC); – В 1998 году утверждена «сетевая» программа с объемом финансирования около 2 млн долл. в год; – Национальная физическая лаборатория разработала Национальную Инициативу по Нанотехнологиям (National Initiative On Nanotechnology, NION), наметившая основную структуру исследований на ближайшие годы. Развивается сотрудничество между правительственными, промышленными и исследовательскими организациями, связанными с этими исследованиями; – В период 1994-1999 гг. EPSRC выделял на нанотехнологические исследования по 7 млн долл. в год (включая 1 млн долл. на специальную программу получения нанопорошков).
Франция	<ul style="list-style-type: none"> – Исследования по нанотехнологии определяет Национальный Центр научных исследований (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS); – Национальный Центр утвердил программу по изучению нанопорошков и нанокomпозиционных материалов, в соответствии с которой финансируются около 40 физических и 20 химических лабораторий; – Для установления и поддержания связей между научными и промышленными кругами создан «Французский Клуб Нанотехнологий» (French Club Nanotechnologie); – CNRS выделяет 40 млн долл. в год на исследования по нанотехнологии в 60 лабораториях (общая численность персонала – 500 человек).
Швеция	<ul style="list-style-type: none"> – Ассигнования на исследования в области нанотехнологий составляют около 10 млн долл. в год. Кроме этого, корпорация Angstrom Consortium начала выделять около 800 тыс. долл. в год на специальную программу создания нанопокровов. – Создано 4 крупных исследовательских центра: <ol style="list-style-type: none"> 1. Angstrom Consortium (с 1998 года выделяется по 800 тыс. долл. в год на разработку и исследование нанопокровов); 2. Nanometer Structures Consortium (на исследования тратится 3,5 млн долл. в год, 1 млн из которых выделяет Программа информационных технологий Европейского Союза, ESPRIT); 3. Cluster-based and Ultrafine Particle Materials (выделяется по 400 тысяч долларов в год, начиная с 1998 года). 4. Brinell Center. – Известно также, что, по крайней мере, пять крупных промышленных организаций ведут исследования в разных направлениях нанотехнологий.
Швейцария	<ul style="list-style-type: none"> – Утверждена (с 2000 года) государственная программа исследований по нанотехнологиям и внедрению их результатов в промышленное производство под названием «TOP NANO 21 Projects»; – Создана сеть обмена информацией и сотрудничества между правительственными, промышленными и исследовательскими организациями, связанными с этими исследованиями. Кроме того, существует и сеть междисциплинарного обмена научной информацией; – Работает ряд крупных исследовательских центров: <ol style="list-style-type: none"> 1. IBM Research Laboratory (Zurich). Основные направления исследований: нанозонды, молекулярные манипуляции, изучение поверхностей; 2. Paul Scherrer Institute (наноустройства, нанодатчики). 3. ETH Zurich (наноэлектроника); 4. L'Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (процессы самосборки)

Источник: Бюллетень World Technology Evaluation Center (WTEC) за 1999 год

Объемы финансирования МОНИТ нанотехнологических исследований с 1998 по 2003 год представлены в табл. 6.

Таблица 6

Объемы финансирования МОНИТ нанотехнологических исследований с 1998 по 2003 год (млн евро)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Совместные проекты	27,0	31,1	32,7	52,0	86,7	110,6
Развитие центров, создаваемых министерством	0,6	1,6	2,1	2,1	1,8	1,5
Всего	27,6	32,7	34,8	54,1	88,5	112,1

Кроме того, важнейшим источником финансирования нанотехнологических исследований являются бюджетные ассигнования на нужды оборонительных ведомств ведущих европейских стран.

В Германии исследования по военным нанотехнологиям начались только с 2004 года. До этого – с 2000 года по 2004 год Министерство обороны поручило Институту Фраунгофера изучить возможность практического использования нанотехнологий в военных целях (бюджет проекта – 0,5 млн евро) и не финансировало ни единой разработки, которую можно было бы отнести к нанотехнологиям. Сегодня политика Германии в развитии военных технологий вообще нацелена почти исключительно на использование результатов, полученных в ходе гражданских НИОКР. Правительство финансирует научно-технические работы военного характера лишь в исключительных случаях их очевидной необходимости и невозможности найти аналоги в гражданском секторе [1, с. 129 – 130].

В Великобритании Министерство обороны в 2001 году сформировало особый Совет по нанотехнологиям. Английский подход к нанотехнологиям в целом основан не на единой программе исследований, а на одновременном участии английских фирм и организациях во многих проектах, осуществляемых в разных странах мира. Роль Министерства обороны при этом сводится лишь к оценке возможностей и опасностей нанотехнологий для обеспечения обороны Великобритании и ее союзников. Области nanoисследований и конкретные виды материалов и изделий, представляющие интерес для Министерства обороны, представлены в табл. 7 [13].

Финансирование многих разработок осуществляется через университеты и имеет целью участие в совместных проектах и обмене научно-технической информацией. Работы в междисциплинарных исследовательских центрах (Interdisciplinary Research Centers, IRCs) и Королевской академии наук финансируются совместно с Министерством обороны и исследовательскими советами (Research Councils) в рамках программы исследований Corporate Research Programme. Кроме того, Министерство обороны иногда непосредственно финансирует НИОКР, проводимые известной фирмой QinetiQ и некоторыми другими промышленными организациями, непосредственно занимающимися нанотехнологиями [17].

Таблица 7

Области nanoисследований, виды материалов и изделий, представляющие интерес для Министерства обороны Великобритании

№	Области nanoисследований
1.	– Источники энергии; – Сплавы, композиты, полимеры, ткани; – Взрывчатые вещества, пиротехника; – Самовосстанавливающиеся системы; – Новые типы оружия (интеллектуальное, автономное, высокоточное); – Покрытия типа «стелс» и «антистелс»
2.	– Методы засекречивания и защиты коммуникационных систем; – Глобальные информационные системы; – Датчики и детекторы
3.	– Вакцины; – Медицинское обслуживание, лечение, обработка и обеззараживание ран; – Кремы, защищающие от химического и биологического воздействия; – Датчики типа «лаборатория-на-чипе» для обнаружения и идентификации химических и биологических агентов
№	Виды материалов и изделий
1.	Нанокристаллические материалы;
2.	Полимерные нанокompозиты;
3.	Наноструктурированные формы углерода;
4.	Водородопоглощающие материалы
1.	Динамические запоминающие устройства;
2.	Квантовые когерентные устройства;
3.	Молекулярная электроника
1.	Разнообразные материалы для нанодатчиков

3. Развитие нанотехнологий в Японии

Начиная с 1991 года, в Японии уже осуществлялись близкие по тематике программы (например, «Атомные технологии» и т. п.). При реализации таких программ каждое из японских ведомств и министерств создает свою собственную, «вертикальную» систему управления и связи. Однако развитие нанотехнологий во многих областях зачастую требует создания совершенно иных, корпоративных, т. е. «горизонтальных» систем управления и связи (например, для объединения исследований в информационных технологиях, медицине и биологии). Поэтому государственная стратегия ускоренного развития нанотехнологий должна включать в себя и усилия по «объединению» разнообразных изолированных научных разработок.

Объединенный научно-технический Совет по согласованию и междисциплинарному сотрудничеству был создан 06.01.2001 г. под председательством премьер-министра Японии. В настоящее время Совет занимается выработкой общегосударственной стратегии в развитии науки и техники, а также разработкой и реализацией Основного плана развития японской науки. За пять лет в соответствии с этим планом было потрачено на научно-технические исследования примерно 200 млрд долл. (или 1% валового национального продукта ежегодно) [2, с. 114 – 115].

Японская Экономическая Ассоциация (Кэйданрэн) создала специальный промышленно-технологический комитет по нанотехнологиям, который должен изучать наиболее важные для Японии направления исследований в этой области, намечать научные программы и способствовать внедрению их результатов в промышленное производство.

На основе такого предварительного изучения комитет Кэйданрэн в марте 2001 года опубликовал доклад, озаглавленный «Нанотехнология и будущее общество. n-Plan21», в котором намечены основные направления развития и цели использования нанотехнологий в Японии. Стратегия Японии в развитии нанотехнологий имеет следующие основные особенности [2, с. 117]:

1) отбор научно-технических направлений, имеющих особое значение для создания общества «гармонии с окружающей средой»;

2) достаточное финансирование наиболее важных социальных и промышленных программ по нанотехнологиям;

3) выбор важнейших нанотехнологических разработок, которые могут быть достаточно быстро (5 – 10 лет) внедрены в промышленное производство, т. е. могут стать «флагманскими» направлениями будущих революционных преобразований промышленности;

4) выработка общегосударственной стратегии Японии по нанотехнологиям, организация эффективного сотрудничества научных, промышленных и государственных ведомств в процессе проведения исследований и внедрения их результатов в производство.

В предложенной Кэйданрэн Программе все исследования разбиты на три категории, условно названные «флагманскими», перспективными и фундаментальными. В соответствии с этой классификацией в табл. 8 приведены важнейшие направления и финансирования нанотехнологических исследований в Японии [2, с. 119 – 125].

Характерной особенностью нанотехнологических исследований является необходимость организации тесного взаимодействия и сотрудничества между большим числом различных организаций и учреждений. Это требует формирования новой, «кластерной» системы исследований и руководства проектами, при которой можно обеспечивать быстрый и эффективный обмен информацией между организациями или учеными разных специальностей.

Для практической реализации первой категории проектов (флагманских или краткосрочных) в Японии создана крупная «объединяющая» организация – Центр совершенствования (COE, Center of Excellence), обеспечивающая взаимодействие и взаимосвязь. Для исследований второй категории тоже создана сеть функциональных организационных связей, которая не только обеспечивает анализ целей и результатов проектов, но и способствует организации венчурных или инновационных фирм, а также доведению проектов до стадии промышленного производства.

Кроме того, важнейшей проблемой для развития нанотехнологий является подготовка научных кадров в университетах и других учебных заведениях. Существующая система подготовки специалистов отлича-

ется узкой направленностью, в то время как развитие нанотехнологий требует именно подготовки кадров для междисциплинарных исследований. Именно это обстоятельство стало решающим фактором быстрой и энергичной реформы системы образования Японии.

Таким образом, выполнение нанотехнологических исследований и разработок в Украине при тесном взаимодействии с Европейским Союзом, Японией и другими развитыми странами позволит поднять рентабельность ведущих отраслей народного хозяйства, обеспечить дальнейший научно-технический прогресс и развитие материального производства, укрепить государственную безопасность, улучшить качество среды обитания человека и повысить благосостояние населения. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. **Альтман Ю.** Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. – М.: Техносфера, 2006. – 414 с.

2. **Кобаяси С.** Введение в нанотехнологию. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 134 с.

3. **Уильямс Л.** Нанотехнологии без тайн / Л. Уильямс, У. Адамс. – М.: Эксмо, 2009. – 368 с.

4. **Kostoff R. N., Stump I. A., Jonson D. et al.** Journal of National Research, 8, № 3, 2006.

5. **Балабанов В. И.** Нанотехнологии: правда и вымысел / В. Балабанов, И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2010. – 384 с.

6. **Лавриненко И., Крюкова С.** Нанопрогресс и нанопурга / Эксперт. – № 50. – 28.12.09. – С.20 – 22.

7. **Сергеев Д.** Перспективы развития нанотехнологий / Интернет-ресурс: <http://www.artkis.ru/nano.html>

8. **Roco M. C. and Bainbridge W. S.** (eds) (2001) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer / [Электронный ресурс]: www.wtec.org/Loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf (accessed 22 Sept. 2003).

9. **Кот О.В., Фьодінгер М., Чехун В.О.** Організаційно-інституціональні передумови науково-технологічного співробітництва України та ЄС / Проблеми и перспективы инновационного развития экономики: Региональное инновационное развитие: политика, управление, законодательство. – Материалы XV Международной научно-практической конференции. – Лушты, 13 – 18.09.2010. – С. 315 – 319.

10. **Вішнівська А., Мутер М.** Довідник стипендіальних програм мобільності науковців «Марії Кюрі» Шостої Рамкової Програми Європейського Союзу. – Львів: Львівський ЦНТЕІ, 2005. – 60 с.

11. **Roman C (2002).** It's Ours to Lose – An Analysis of EU Nanotechnology Funding and the Sixth Framework Programme, Brussels: European Nanobusiness Association. Электронный ресурс: www.nanoeurope.org/docs/European%20Nanotech%20Funding.pdf (accessed 10 Nov. 2003).

12. **BMBF (2002).** Nanotechnologie in Deutschland – Standortbestimmung. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.

13. **Burgess D. E. (2002)** «UK MoD's Nanotechnology Initiatives» / Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct. –1 Nov., London: Defence Event Management.

14. <http://luxresearchinc.com>.

15. <http://www.nano.gov>.

16. http://cordis.europa.eu/fp7/cooperation/home_en.html.

17. <http://www.qinetiq.com>.

Важнейшие направления и финансирования нанотехнологических исследований в Японии

№ п/п	Категория проектов и их характеристики	Область финансируемых исследований	Ожидаемые результаты
I. Флагманские разработки			
1.	Проекты категории 1, которые: – краткосрочны и перспективны для внедрения; – согласованы с COE (Center of Excellence), т. е. с центрами, обеспечивающими взаимодействие и связь различных организаций	1.1. Полупроводниковые технологии XXI века: – дешевые и высокоэффективные наноразмерные полупроводниковые приборы; – новые материалы и новые устройства; – новая техника монтажа и сборки структур.	Создание сверхминиатюрных полупроводниковых устройств и приборов
		1.2. Терабитовые запоминающие устройства: – новые материалы для запоминающих сред и считывающих головок; – новые конструкции считывающих головок; – прецизионные приводы (позиционеры); – запись информации с использованием излучения ближнего поля.	Повышение плотности записи до 1 терабит/кв.дюйм
		1.3. Развитие технологии сетевых устройств: – фотоника, новые типы волноводов; – электронные устройства со сверхширокой запрещенной зоной.	Доведение пропускной способности оптических линий связи до 1 петабит/кв. дюйм, а радиолиний – до 10 гигабит/кв. дюйм
II. Перспективные проекты			
2.	Проекты категории 2: – изучение целей и возможностей проекта; – согласование проекта с COE; – разработка планов и установка сроков реализации (включая подготовку венчурных производств).	2.1. Нанотехнологические материалы: – сверхлегкие и сверхпрочные конструкционные материалы; – износостойкие материалы; – биосовместимые материалы.	Создание совершенно новых, «революционных» устройств и структур из наноматериалов (нанокристаллы, нанопленки, нанотрубки)
		2.2. Бионаносистемы: – лаборатории-на-чипе.	Создание новых аналитических систем на основе объединения методов биологии и нанотехники
		2.3. Наноустройства: – одноэлектронные устройства; – оптоэлектронные устройства; – спиновая электроника; – сверхпроводящие устройства; – гибкие электронные устройства из органических материалов.	Создание следующего поколения полупроводниковых приборов
		2.4. Наноизмерительная техника: – повышение точности измерений электронным пучком; – повышение возможностей зондовой техники; – оптические измерения; – нанометры и линейные измерения.	Разработка высокоточной измерительной техники и обрабатывающей аппаратуры для нанопроизводства.
		2.5. Нанообработка материалов: – развитие технологий «сверху-вниз»; – развитие технологий «снизу-вверх» и методов самосборки; – изучение возможностей объединения технологий «сверху-вниз» и «снизу-вверх».	Организация крупных промышленных производств с использованием нанотехнологий.
		2.6. Методы моделирования наносистем: – автоматизированное проектирование устройств; – моделирование производственных процессов.	Развитие методов моделирования промышленных нанотехнологических процессов.
III. Фундаментальные исследования			
3.	Проекты категории 3: – особая ценность оригинальных индивидуальных разработок; – необходимость «кластеризации» исследований.	3.1. Исследования свойств и функций наноструктур: – изучение свойств и функций нанокристаллов, решеток, квантовых точек, атомов, молекул, геномов и белков; – фундаментальные исследования новых типов вычислительных систем; – изучение ресурсосберегающих и энергосберегающих наносистем; – фундаментальные исследования процессов самосборки.	Возникновение новых направлений развития наноинженерии. Разработка и реализация новых проектов.
		3.2. Исследования процессов измерения: – разработка методик измерения электрических и магнитных состояний, а также структуры и свойств разнообразных нанообъектов; – разработка методик измерения с высоким временным разрешением и достаточной точностью; – создание новых типов микроскопов и зондов.	
		3.3. Развитие теоретических, аналитических и вычислительных методов.	