УДК 001.895

СВІТОВИЙ ДОСВІД РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СФЕРИ НА ПРИКЛАДІ США

Н.М. Віннікова,
Центр досліджень науково-технічного потенціалу
та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України

Вивчено особливості розвитку нанотехнологій у США. Здійснено аналіз основних результатів фінансування нанотехнологій. Розглянуто нанотехнологічні програми, пріоритетні напрями розвитку нанотехнологій та установи, які активно займаються дослідженням у цій сфері. Виділено найбільші досягнення та впровадження у сфері нанотехнологій. Наведено приклади міжнародного співробітництва в рамках програм.

Ключові слова: *нанотехнології, нанотехнологічні програми, нанотехнологічні центри, дослідження, впровадження, співробітництво.*

Постановка проблеми. Нанотехнології вже давно увійшли до нашого життя і використовуються в електроніці, енергетиці, машинобудуванні, промисловості, медицині і т.д. У майбутньому за допомогою нанотехнологій планується створення молекулярних роботів, які могли б лікувати організм, перебуваючи всередині нього; можливе відновлення вимерлих видів тварин і навіть створення нових істот. І це далеко не все, на що здатні нанотехнології. Тому нанотехнології стали найпріоритетнішою сферою розвитку сучасної науки та техніки. Дослідження та розробки проводяться в усьому світі, держави витрачають мільярди доларів на розвиток цієї сфери. Вивчення їх досвіду надзвичайно актуальне.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням розвитку нанотехнологій в Україні і світі присвячено праці таких українських вчених як Т. Кваша, Л. Стрельникова, А. Ямчук, Г. Новіцька, Ю. Рябчун, Л. Мусіна, Н. Березняк, О. Фролова та ін.

Мета статті – проаналізувати сучасні методи та підходи до розвитку нанотехнологічної сфери у США.

США є світовим лідером з розвитку нанотехнологій, на долю яких припадає до 25% світових інвестицій в цю сферу і близько половини публікацій. США також лідирують за кількістю патентів. В одному тільки 2003 році вчені та інженери із США одержали до тисячі нанотехнологічних патентів. Патенти розподілені за такими напрямами: виготовлення, обробка та виявлення наноструктур – 39%, наноструктури – 30, шляхи використання наноструктур – 30, математичні алгоритми, наприклад спеціально адаптовані для наноструктур – 1% [1].

На сьогодні в дослідження нанотехнологій у США залучено більше ніж 700 університетів, приватних інститутів і лабораторій. Реалізується понад 5000 науково-дослідних проектів [2].

Найпріоритетнішими напрямами розвитку нанотехнологій у США є медицина, сільське господарство, енергетика та екологія.

У 2001 році федеральним урядом США прийнято інвестиційну програму розвитку у сфері нанотехнологій «Національна нанотехнологічна ініціатива» (The National Nanotechnology Initiative). До неї входять 26 державних організацій. Основне завдання програми – дослідження нанотехнологій та нанотехнологічних програм на світовому рівні; впровадження нанотехнологічних розробок; покращення рівня освіти та створення розвиненої інфраструктури; підтримка вітчизняних досліджень та розробок у сфері нанотехнологій. Дослідження та розробки в рамках програми проводяться в таких напрямах: основи наноявища та нанопроцесів; наноматеріали; наноінструменти та системи; нано-

метрологія та стандарти для нанотехнологій; нановиробництво; нарощування абсорбційного потенціалу; навколишнє середовище, здоров'я та безпека, а також освіта та соціальні ефекти [3].

Згідно з прийнятим у 2003 році конгресом США законом «Про дослідження й розробки у сфері нанотехнологій в XXI столітті» (Nanotechnology 21st Research and Development Act of 2003 – P. L. 108–153) програма має переглядатися кожні три роки [4]. Документ спрямований на закріплення позицій лідерства в сфері науки та техніки шляхом забезпечення довгострокової підтримки досліджень. Згідно з цим документом такі основні державні організації, як Національний науковий фонд, Міністерство енергетики, Національний інститут стандартів та технологій НАСА та Управління з охорони навколишнього середовища, отримують фінансування на науково-дослідні роботи у сфері нанотехнологій.

За перші три роки реалізації програми було видано 2500 грантів 300 академічним організаціям та 200 підприємствам малого бізнесу. Створено нанотехнологічні центри в 60 університетах 50 штатів та залучено близько 40 тис. спеціалістів. Розпочалась активна підготовка молодих спеціалістів в університетах та школах за новими програмами. Відкрито курси перепідготовки спеціалістів, які працюють в інших галузях промисловості [5].

Для координації наукових досліджень та розробок у сфері нанотехнологій в США в рамках програми створено спеціальні підрозділи (табл. 1).

Таблиця 1. **Система координування досліджень та розробок у сфері нанотехнологій США**

Підрозділ	Основні функції
Національна консультативна група експертів з нанотехнологій – NNAP (National Nanotechnology Advisory Panel), 2003 У червні 2004 р. всі обов'язки NNAP передані Президентській раді з питань науки і технологій – President's Council of Advisors on Science and Technology (PCAST)	Проведення раз на два роки оцінки виконання міжвідомчої програми NNI та надання рекомендації щодо її вдосконалення
Національна рада з питань науки і технологій – National Science and Technology Council (NSTC), 1993 У структуру NSTC входять чотири комітети: – з питань навколишнього середовища і природних ресурсів (9 підкомітетів); – з питань внутрішньої та національної безпеки (6 підкомітетів); – з питань технологій (9 підкомітетів); – з питань науки	Координація реалізації федеральних науково-технологічних пріоритетів та програм міждисциплінарного та міжвідомчого характеру. Координація діяльності всіх міністерств і агентств федерального уряду в науково-технологічній сфері, формування комплексного інвестиційного пакету уряду США в нано-сфері Відбір загальнонаціональних пріоритетів, координація міжвідомчих базових і прикладних досліджень
Управління з науково-технологічної політики адміністрації президента – Office of Science and Technology Policy (OSTP) Створений відповідно до Закону «Про національну науково-технологічну політику», 1976	Підготовка для президента США та його адміністрації рекомендацій щодо впливу науки та технологій на внутрішню та зовнішню політику держави Залучення різних науково-дослідних установ для проведення досліджень у сфері нанотехнологій
Адміністративно-бюджетне управління – Office of Management and Budget (OMB)	Допомога президенту США в розробці та реалізації спільної політики, у тому числі в галузі науки та технологій, включаючи NNI, розгляд питань щодо бюджетних асигнувань міністерствами та агентствами, включаючи програми НДДКР у сфері нанотехнологій
Технічна консультативна група – Technical Advisory Group (TAG) Складається із 45 експертів у сфері нанотехнологій, які представляють різні галузі науки і промисловості	Проведення технічної підтримки Надання рекомендацій з усунення проблем, які виникають у галузі науки і промисловості

Підкомітет з питань нанонауки, інжинірингу та технологій – Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee (NSET) У підкомітеті організовано чотири робочі групи: – з визначення впливу нанотехнологій на навколишнє середовище й здоров'я людини (Nanotechnology Environmental and Health Implications (NENI WG); – зі зв'язків з промисловістю (Industry Liaison WG); – з нановиробництва (Nanomanufacturing WG); – зі зв'язків із суспільством (Public Engagement WG)	Координація планів, бюджету та програм 26 федеральних міністерств та агентств в рамках Національної нанотехнологічної ініціативи
Національне управління з координування в сфері нанотехнологій – National Nanotechnology Coordination Office (NNCO), 2001	Міжвідомче координування робочих груп підкомітету NSET, надання йому адміністративно-технічної підтримки, поширення інформації й сприяння трансферу та комерціалізації результатів федеральних досліджень та розробок у сфері нанотехнологій
Американський центр нанотехнологічної готовності – American Nanotechnology Preparedness Center (ANPC) Створений відповідно до Закону «Про дослідження і розробки в сфері нанотехнологій в XXI столітті», 2003	Проведення досліджень, координація, збір та розповсюдження інформації з соціальних, екологічних, освітніх, юридичних та інших проблем, які виникають у результаті використання нанотехнологій Ідентифікація перспективних проблем, які виникають при використанні нанотехнологій для реалізації НДДКР, та надання рекомендацій з їх усунення
Центр з виробництва наноматеріалів – Centre for Nanomaterials Manufacturing (CNM)	Здійснення та координація досліджень, а також збір та розповсюдження інформації про нові технології, які використовуються для виробництва наноматеріалів, нанообладнання та наносистем з новими характеристиками Розробка механізмів трансферу нанотехнологій у промисловість США

Перші дослідження у сфері нанотехнологій у США почав фінансувати Національний науковий фонд ще наприкінці 1991 року. З кожним роком збільшується фінансування нанотехнологічної сфери, що свідчить про пріоритетність цього напряму для держави (табл. 2).

Таблиця 2. **Фінансування досліджень у сфері нанотехнологій за 2001–2012 рр.,** млрд. дол. [3, 6, 7]

Рік											
2001	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
0,464	0,697	0,760	0,989	1,200	1,351	1,424	1,555	1,702	1,781	1,762	2,1*

*З них близько 97 млн. дол. виділено на нановиробництво

Головними розпорядниками державних коштів у сфері нанотехнологій у США є Національний науковий фонд та Міністерство оборони. У 2008–2010 рр. обсяг фінансування цими установами склав 52,6% від загальної суми (табл. 3) [2, 8].

Таблиця 3. **Фінансування нанотехнологічної сфери за галузевими відомствами у 2008–2010 рр.,** млн. дол.

Відомство	Рік		
	2008	2009	2010
Національний науковий фонд	409	397	423
Міністерство оборони	460	464	379
Міністерство енергетики	240	338	347
Міністерство охорони здоров'я	305	311	326
Міністерство торгівлі	86	88	92
Міністерство охорони навколишнього середовища	12	16	18
NASA	17	17	17
Міністерство зовнішньої безпеки	3	9	12
Міністерство сільського господарства/Лісний департамент	5	5	5
Міністерство сільського господарства	6	3	3
Міністерство транспорту	1	3	3
Міністерство юстиції	0	0	0
Всього	1,542	1,647	1,624

Приблизно 65% бюджетних асигнувань в рамках програми «національна нанотехнологічна ініціатива» надходять університетам на підтримку академічних базових досліджень, 25% – науково-дослідним лабораторіям, які підпорядковуються міністерствам та агентствам, і 10% – промисловим організаціям [4].

Найбільша увага в США приділяється довгостроковим і ризиковим нанотехнологічним дослідженням та розробкам терміном від 10 до 20 і більше років в напрямах електроніки, хімії, медицини, інформаційних технологій тощо [1].

США мають добре розвинену нанотехнологічну інфраструктуру. Постійно створюються великі дослідницькі центри, лабораторії та підприємства. Найвідомішими науково-дослідними організаціями в США у сфері нанотехнологій є: Американське товариство з випробування матеріалів (American Society for Testing and Materials), Інститут електрики та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Національна нанотехнологічна мережа (National Nanotechnology Infrastructure Network), Центр електромеханічних виробничих систем (Center for Nanoscale Chemical-Electrical-Mechanical Manufacturing Systems), Національний інститут стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology), які фінансуються Національним науковим фондом (NSF) [3–5].

Найвагомішими результатами в США у сфері нанотехнологій вважають новий тип приладу цифрової пам'яті (Університет Каліфорнія, Лос-Анджелес), нові елементи для палива (компанія Neah Power Systems), вуглецеві нанотрубки як «систему доставки» ліків (Массачусетський технологічний інститут Стенфордського університету), одежу з використанням нанотехнологій (Корнелівський університет, Нью-Йорк), прилад, який моделює роботу мускулів (Інститут нанотехнологій, Техас, Даллас) тощо [4].

З 2011 року США та Росія співпрацюють у сфері нанотехнологій у рамках 25 проектів. Основна мета – виробництво та комерціалізація продукції. Велика увага приділяється також освіті у сфері нанотехнологій. У процесі співпраці планується створення спільного центру з нанобіонауки, де голо-

вними учасниками є Інститут ім. Курчатова та Лоуренсівська національна лабораторія [3, 4].

Того ж року Міністерство освіти та науки України і Посольство США в Україні підписали спільний пілотний проект щодо навчання в провідних вищих навчальних закладах США українських студентів у рамках програми ім. Фулбрайта, де одним із основних пріоритетних напрямів освіти і науки є нанотехнології [4].

Кожен рік Національний науковий фонд та низка інших організацій, зайнятих у нанотехнологічній сфері в США, організовують поїздки молодих вчених до Японії, Кореї, Індії, Швейцарії, Німеччини та інших регіонів для обміну досвідом, проведення семінарів та налагодження нових зв`язків з провідними нанотехнологічними центрами [4, 7].

В останні п'ять років нанотехнології активно розвивають і в Північній Америці – Канаді та Мексиці, а також в країнах Південної Америки – Аргентині та Бразилії.

Так, найактивнішими в розвитку нанотехнологій у Канаді є такі провінції як Альберта, Британська Колумбія, Онтаріо і Квебек. Над розвитком нанотехнологічної сфери працює федеральний уряд, уряди провінцій, а також національні університети та інститути. На території Канади налічується до 200 компаній, які активно проводять дослідження та розробки у сфері нанотехнології. Основні напрями досліджень – біологічні науки, інформаційні технології, матеріалознавство та енергетика [9].

У провінції Альберта розташований найбільший науково-дослідний Національний інститут нанотехнологій (NINT), основною діяльністю якого є заохочення та підтримка наукових досліджень у сфері нанотехнологій. Велику роль у розвитку нанотехнологій цієї провінції відіграє науково-дослідний центр «Нанофаб» (Micromachining and Nanofabrication Facility), який допомагає місцевим підприємствам та вченим розвивати нанотехнологічний бізнес, надаючи обладнання та передаючи досвід, необхідні для досягнення цілей дослідження [9, 10].

У Британській Колумбії науково-дослідною діяльністю у сфері нанотехнологій займається відомий Університет Британської Колумбії (The University of British Columbia). Основні напрями досліджень – матеріалознавство та металургія [9, 11].

На території Онтаріо знаходиться найбільша кількість науково-дослідних установ у сфері нанотехнологій. Серед них найвідоміші п`ять: Інститут національних стандартів (The Institute for National Measurement Standards), Інститут молекулярної науки (The Steacie Institute of Molecular Science), Інститут мікроструктури (The Institute for Microstructural Science), Інститут аерокосмічних досліджень (The Institute for Aerospace Research) і Інститут хімічних процесів і технології навколишнього середовища (Institute for Chemical Process and Environmental Technology) [9].

Провінція Квебек являє собою кластер, який складається з шести університетів та науково-дослідних центрів. Таке об'єднання створено з метою підвищення конкурентоспроможності промисловості Квебеку у сфері нанотехнологій. Найпріоритетнішими напрямами дослідження нанотехнологій в провінції Квебек є космічна та автомобільна галузі [3, 9].

У Мексиці відсутня державна програма з розвитку нанотехнологій. Головною організацією, яка контролює розвиток цієї сфери, є Фонд «США-Мексика» (United States-Mexico Foundation for Science) [10]. Установа займається проблемами організації співробітництва між двома країнами, а також створенням спеціалізованих технопарків. Для Мексики нанотехнології є стимулом для підвищення конкурентоспроможності своєї економіки.

Аргентина та Бразилія координують свої зусилля в цій сфері, реалізуючи спеціальні програми з іншими державами. За даними відомої американської аналітичної організації Lux Research Inc, Бразилія входить в число 17 найактивніших країн у сфері нанотехнологій [11].

Висновки. У США нанотехнологічна сфера розвивається швидше, ніж в інших державах. Дослідження тут проводяться в усіх галузях економіки та майже в усіх регіонах, створена стійка інфраструктура, існує чітка стратегія розвитку, добре налагоджена організаційно-правова система, збалансоване державне та приватне фінансування, ведеться підготовка та перепідготовка власних та іноземних кадрів. Досвід США активно використовується більшістю держав, в яких стрімко розвиваються нанотехнології.

Література

1. Как обустроить развитие нанонаук и нанотехнологий в Украине на перспективу до 2020 г. / А.В. Рагуля // Вісник Українського матеріалознавчого товариства. – 2008. – № 1(1). – С. 29–36.
2. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г.О. Андрощук, А.В. Ямчук, Н.В. Березняк та ін.: Монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.
3. The National Nanotechnology Initiative: Overview, Reauthorization and Appropriations Issues ohn F. Sargent Jr. Specialist in Science and Technology Policy. May 22, 2012. – www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34401.pdf.
4. The National Nanotechnology Initiative: strategic plan, 2007. – www.sandia.gov/.../NNI_Strategic_Plan_20.
5. *Вергун Л.І.* Моделі розвитку бізнесу у сфері нанотехнологій // Проблеми і перспективи розвитку співробітництва між країнами Південно-східної Європи в рамках ЧАЕС і ГУАМ: – Севастополь-Донецьк, 2009. – С. 595–602.
6. *Чигрин А.В., Петух А.О.* Стан та перспективи розвитку ринку товарів нанотехнології і наноматеріалів. – http://www.rusnauka.com/9_DN_2010/Economics/62239.doc.htm.
7. *Жмудь В.А., Авдеенко Т.В., Ляпидевский А.В.* Экономические аспекты развития нанотехнологий: Сб. науч. трудов НГТУ. – 2009. – №3 (57). – С. 105–112.– sbornik.infoterra.ru/dowload2.php?num=3-57&id=13&type.
8. *Киселев В.Н., Рубвальтер Д.А., Руденский О.В.* Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЄС, 2008. –www.csrs.ru/inform/IAB/bulleten_2008_1.pdf.
9. Nanotechnology research in Canada, 2006. –http://translate.google.com.ua/translate?hl=ru&sl=en&tl=ru&u=http%3A%2F%2Fwww.nanowerk.com%2Fspotlight%2Fspotid%3D984.php.
10. Нанотехнологии в Мексике: Дорога без цели // Nano News Net. – 2007. – http://www.nanonewsnet.ru/blog/nikst/nanotekhnologii-v-meksike-doroga-bez-tseli.
11. NANO – 2008 (Бразилия) / Науково-інформаційний портал нанотехнологій. – http://nano-info.ru/post/199.

Н.Н. Винникова

МИРОВОЙ ОПЫТ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ США

Изучены особенности развития нанотехнологий в США. Осуществлен анализ основных результатов финансирования нанотехнологий. Рассмотрены нанотехнологические программы, приоритетные направления развития нанотехнологий и учреждения, которые активно занимаются исследованием в этой сфере. Выделены наибольшие достижения и внедрения в сфере нанотехнологий. Приведены примеры международного сотрудничества в рамках программ.