

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ІНЖЕК»



Research Centre of Industrial Problems of Development  
National Academy of Sciences of Ukraine of Economics

KIZIM M. O.  
MATYUSHENKO I. Yu.

**PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND  
COMMERCIALISATION OF NANOTECHNOLOGIES IN THE  
WORLD'S COUNTRIES ECONOMIES AND UKRAINE**

**Monograph**

Kharkiv  
«ENGEС» PH  
2011

Національна академія наук України  
Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку

КИЗИМ М. О.  
МАТЮШЕНКО І. Ю.

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
І КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ НАНОТЕХНОЛОГІЙ  
В ЕКОНОМІКАХ КРАЇН СВІТУ ТА УКРАЇНИ**

**Монографія**

Харків  
ВД «ІНЖЕК»  
2011

ББК 65.050

К 38

Рекомендовано на засіданні вченої ради Науково-дослідного центру  
індустріальних проблем розвитку НАН України (протокол № 12 від 07.12.2011 р.)

**Рецензенти: Загорський В. С.** – д-р екон. наук, професор, чл.-кор. НАН України, директор  
Львівського регіонального інституту державного управління Національної  
академії державного управління при Президентові України;

**Алексєєв І. В.** – д-р екон. наук, професор, Національний університет «Львів-  
ська політехніка»;

**Христиановський В. В.** – д-р екон. наук, професор, Донецький національ-  
ний університет

**Кизим М. О., Матюшенко І. Ю.**

**К 38 Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економі-  
ках країн світу та України :** монографія / Кизим М. О., Матюшенко І. Ю. – Х. :  
ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с. Укр. мова

**ISBN 978-966-392-378-9**

Розвиток будь-якої країни світу підпорядкований головній цілі – зробити життя людей  
більш «тривалим, здоровим, комфортним і сповненим творчістю». Але сьогодні людство  
стикнулося з цілою низкою глобальних проблем, які загрожують його існуванню. Саме на  
вирішення глобальних і національних проблем, які існують у кожній країні світу, і повинна  
бути спрямована інноваційна діяльність у будь-якій державі.

У цьому контексті автори провели аналітичне дослідження проблем і перспектив  
конвергенції nano-, біо-, інформаційних і когнітивних технологій (NBIC-технологій) як  
ключового фактору становлення шостого технологічного укладу в країнах світу та осно-  
ви побудови економіки випереджального розвитку. У монографії розглянуті можливі  
напрямки комерціалізації нанотехнологій в економіці, а також наведено аналіз досвіду  
державного регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу.

Особливу увагу автори приділили оцінці стану розвитку нанотехнологій в Україні,  
необхідності розробки теоретичних положень і методичних підходів щодо обґрунтуван-  
ня організаційно-економічного механізму забезпечення науково-технічних досліджень  
і комерціалізації нанотехнологій у країні та реформування на цій основі її економіки.

Рекомендовано для вчених, спеціалістів, викладачів, аспірантів та студентів, які до-  
сліджують проблеми технологічного прогнозування та розбудови економіки.

ББК 65.050.9

**ISBN 978-966-392-378-9**

© Кизим М. О., Матюшенко І. Ю., 2011

© ВД «ІНЖЕК», 2011

## Зміст

Вступ.....	9
1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних проблем людства .....	13
1.1. Перспективи формування шостого технологічного укладу .....	13
1.2. Конвергенція NBIC-технологій як ключовий фактор нового технологічного укладу .....	29
1.3. Синергетичний ефект розвитку NBIC-технологій .....	34
1.3.1. Конвергенція нано- і біотехнологій .....	37
1.3.2. Конвергенція інформаційних технологій з нано- і біотехнологіями .....	40
1.3.3. Взаємодія інформаційних і когнітивних технологій .....	44
Висновки .....	49
Література .....	53
2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій .....	64
2.1. Передумови виникнення і класифікація нанотехнологій .....	64
2.2. Перспективні напрямки застосування нанотехнологій і нанопродуктів .....	78
2.2.1. Наноматеріали .....	78
2.2.2. Наномедицина і нанобіотехнології .....	89
2.2.3. Нова енергетика.....	96
2.2.4. Наноелектроніка та інформаційні технології.....	101
2.2.5. Нанорозмірні системи і пристрої.....	107
2.2.6. Обробна промисловість, технології з елементами нанотрибології та інші застосування.....	116
Висновки .....	121
Література .....	121
3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів.....	126
3.1. Структура і сфери застосування нанопродуктів.....	126
3.2. Особливості формування ринку нанотехнологій.....	133
3.3. Перспективні комерційні нанопродукти та їх виробники .....	138
3.4. Прогноз розвитку ринку нанотехнологій .....	146
Висновки .....	158
Література .....	160
4. Державне регулювання розвитку nanoіндустрії у провідних країнах світу .....	162
4.1. Порівняльний аналіз напрямків розвитку і фінансування досліджень у сфері нанотехнологій у провідних країнах світу .....	162
4.2. Розвиток нанотехнологій у США .....	168

4.2.1. Напрямки і фінансування досліджень у рамках Національної Нанотехнологічної Ініціативи .....	168
4.2.2. Фінансування і підтримка нанодосліджень Національним науковим фондом США.....	181
4.2.3. Розвиток нанодосліджень у федеральних лабораторіях США.....	186
4.3. Напрямки розвитку нанотехнологій у Японії.....	197
4.4. Розвиток нанотехнологій у країнах Євросоюзу та Ізраїлі .....	205
4.4.1. Політика ЄС з розвитку нааноіндустрії.....	205
4.4.2. Програми розвитку нааноіндустрії Німеччини та Ізраїлю.....	216
4.5. Досвід розвитку нанотехнологій у КНР, Республіці Корея та Індії.....	227
4.6. Перспективи розвитку нанотехнологій у Росії.....	237
4.6.1. Основні федеральні програми розвитку нанотехнологічних досліджень .....	237
4.6.2. Розвиток ринку нанопродуктів і напрямки комерціалізації нанотехнологій .....	243
4.7. Світовий досвід створення нанотехнологічних мереж і кластерів .....	267
Висновки .....	295
Література.....	297
5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні.....	306
5.1. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в Україні.....	306
5.2. Проблема визначення пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій в Україні.....	323
Висновки .....	337
Загальні висновки.....	341
Література.....	345
<i>Додаток А</i> .....	351
Приклади застосування наноматеріалів, представлених на світовому ринку, в основних індустріальних секторах економіки .....	351
Прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах нааноіндустрії .....	355
<i>Додаток Б.</i> Основні напрямки, перспективи використання та ключові проблеми розвитку нанотехнологій у Росії, які викладені в «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» від 18 листопада 2004 р.....	358
<i>Додаток В.</i> Відповідність глобальних проблем людства та розроблених і завершених розробок установ НАН України в галузі наноматеріалів і нанотехнологій.....	366
<i>Додаток Г.</i> Наукові проекти Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» НАНУ в 2010 – 2011 рр.....	370
<i>Додаток Д.</i> Базові позитивні ефекти застосування нанопродуктів за секторами ринку .....	387

# Contents

Introduction .....	9
1. <i>Establishment of the sixth tenor of technology – a way to resolution of global problems of mankind</i> .....	13
1.1. Prospects of formation of the sixth tenor of technology .....	13
1.2. Convergence of NBIC-technologies as a key factor of the new tenor of technology .....	29
1.3. Synergetic effect of development of NBIC-technologies .....	34
1.3.1. Convergence of Nanotechnology and Biotechnology .....	37
1.3.2. Convergence of Information technology with Nanotechnology and Biotechnology .....	40
1.3.3. Interaction of Information technology and Cognitive science .....	44
Conclusions .....	49
Bibliography.....	53
2. <i>Prospects of development and directions of application of Nanotechnology</i> .....	64
2.1. Prerequisites of origination and classification of Nanotechnologies .....	64
2.2. Promising directions of application of Nanotechnologies and Nano Products .....	78
2.2.1. Nanomaterials .....	78
2.2.2. Nanomedicine and Nanobiotechnology .....	80
2.2.3. New Energy .....	96
2.2.4. Nanoelectronics and Information technology .....	101
2.2.5. Nanosized systems and devices .....	107
2.2.6. Processing industry, technologies with Nanobiotechnology elements and other applications.....	116
Conclusions .....	121
Bibliography.....	121
3. <i>Commercialisation and specific features of the market of Nanotechnologies and Nano Products</i> .....	126
3.1. Structure and spheres of application of Nano Products .....	126
3.2. Specific features of Nanotechnology market formation .....	133
3.3. Promising commercial Nano Products and their manufacturers .....	138
3.4. Forecast of Nanotechnology market development .....	146
Conclusions .....	158
Bibliography.....	160
4. <i>State regulation of Nanoindustry development in developed countries</i> .....	162
4.1. Comparative analysis of directions of development and financing of research in the sphere of Nanotechnology in developed countries .....	152
4.2. Development of Nanotechnology in United States .....	168

4.2.1. Directions and financing of research within the framework of the National Nanotechnology Initiative .....	168
4.2.2. Financing and support of Nano Research by the US National Science Foundation .....	181
4.2.3. Development of Nano Research in US federal laboratories .....	186
4.3. Directions of development of Nanotechnology in Japan .....	197
4.4. Development of Nanotechnology in European Union countries and Israel .....	205
4.4.1. EU Nanoindustry development policy .....	205
4.4.2. Nanoindustry development programmes in Germany and Israel .....	216
4.5. Experience of Nanotechnology development in China, South Korea and India .....	227
4.6. Prospects of Nanotechnology development in Russia .....	237
4.6.1. Basic federal programmes of development of Nanotechnology research .....	237
4.6.2. Development of Nano products market and directions of commercialisation of nanotechnologies .....	243
4.7. World experience of creation of Nanotechnology networks and clusters .....	267
Conclusions .....	295
Bibliography.....	297
5. <i>Development of Nanotechnology research in Ukraine</i> .....	306
5.1. Prospects of development and commercialisation of Nanotechnology in Ukraine .....	306
5.2. Problem of identifying priority directions of development of Nanotechnology in Ukraine .....	323
Conclusions .....	327
General conclusions .....	341
Bibliography.....	345
<i>Supplement A</i> .....	351
Examples of application of Nanomaterials, available in the world market, in main industrial sectors of economy .....	351
Forecast of entering the stage of commercial application of Nanomaterials, which are in the stage of development, by Nanoindustry sectors .....	355
<i>Supplement B</i> . Main directions, prospects of application and key problems of development of Nanotechnology in Russia, which are stated in «The Concept of Development of Activities in the Sphere of Nanotechnology in Russian Federation till 2010» dated November 18th, 2004 .....	358
<i>Supplement B</i> . Correspondence of global problems of mankind and developments of institutions of NAS of Ukraine in the field of Nanomaterials and Nanotechnology .....	366
<i>Supplement I</i> . Scientific projects of the State scientific and technical programme «Nanotechnology and Nanomaterials» of NASU in 2010–2011 .....	370
<i>Supplement A</i> . Basic positive effects of application of Nano products by market sectors...	387



## Вступ

---

Розвиток кожної країни світу повинен бути підпорядкований певній цілі – як правило, це покращення якості життя населення. Будь-які інновації повинні бути спрямовані на те, щоб зробити життя людей більш «тривалим, здоровим, комфортним і сповненим творчістю».

Сьогодні людство стикнулося з цілим рядом глобальних проблем, які загрожують йому виродженням і знищенням. Висновки груп вчених, що виконували дослідження на замовлення Римського Клубу, показали, що в недалекому майбутньому світ буде наражатись на серйозну небезпеку внаслідок скорочення запасів енергоносіїв та інших природних ресурсів, інтенсивного забруднення навколишнього середовища тощо. В той же час, кожна країна має свої специфічні загрози, які можуть негативно відбитись на її майбутньому розвитку.

Саме на вирішення як глобальних, так і національних проблем, які існують у кожній країні світу, і повинна бути спрямована будь-яка, в тому числі й інноваційна, діяльність держави і суспільства.

Ситуація, що склалась сьогодні в Україні, свідчить про те, що в українському суспільстві немає розуміння того, яким воно повинно бути у довгостроковій перспективі, якою повинна бути його політична, соціальна, економічна і духовна сфери, на яких принципах вони можуть і повинні бути побудовані. На протязі усіх останніх двадцяти років незмінно гостро стоїть питання: яку з існуючих моделей економічного розвитку повинна обрати Україна і як її реалізувати в сучасних умовах? [1].

Як свідчить світовий досвід, тільки модель випереджального розвитку спроможна забезпечити країні процвітання, а не животіння на задвірках світової цивілізації. Забезпечити це може тільки успішний розвиток у науково-технічній та інноваційній сфері.

Світова економіка розвивається шляхом заміщення одного технологічного укладу іншим. Зміна чергових технологічних укладів завжди пов'язана з появою «усередині» попереднього укладу ряду базових інновацій, які згодом стануть ядром нового укладу й приведуть до швидкого підвищення ефективності економіки: вона стає менш матеріало- та енергоємною, відбувається стрімке зниження витрат, з'являються нові потреби людини.

Так, на початку ХХ століття, поява й масове застосування двигуна внутрішнього згоряння викликало розвиток автомобілебудування й авіації, що в рази знизило вартість пересування людей і транспортування вантажів [2]. Наприкінці ХХ століття аналогічні процеси відбулися в сфері зв'язку й обробки інформації. Широке використання комп'ютерів, Інтернету, мобільних телефонів, цифрових технологій і техніки зробило зберігання, обробку й передачу інформації в рази дешевшими.

Сьогодні, незважаючи на технологічну складність і неочевидність результату при інвестиціях у сферу *нанотехнологій* (у першу чергу, у перетворення речовин і конструювання нових матеріальних об'єктів), розвинені держави роблять ставку саме на них, розраховуючи, що ці технології поряд з *біотехнологіями* (у тому числі клітинними технологіями зміни живих організмів, включаючи методи генної інженерії), *альтернативною енергетикою*, *електронною промисловістю* й *інформаційними технологіями* стануть одним з елементів переходу до шостого технологічного укладу [3].

При цьому саме завдяки нанотехнологіям межі між базовими технологіями шостого технологічного укладу стають усе більше й більше стертими, а інформатика, молекулярна біологія, гена інженерія, медицина виходять на принципово нові рубежі. І хоча видатки на освоєння новітніх технологій і масштаб їхнього застосування зростають по експоненті, загальна вага шостого технологічного укладу в структурі сучасної економіки залишається незначною. Якісний стрибок відбудеться після завершення структурної перебудови провідних економік світу, більш високого ступеня відпрацьовування відповідних технологій і готовності соціально-економічного середовища до їхнього широкого застосування. Саме за таких умов можливий перехід шостого технологічного укладу з ембріональної фази розвитку у фазу зростання, очікуваний у середині наступного десятиліття.

Таким чином, на початку другого десятиліття ХХІ століття нанотехнології стають усе більш реальним інструментом, за допомогою якого людство сподівається досягти цілей і вирішити глобальні проблеми, що стоять перед ним [4, с. 13]. Як наслідок, провідні країни світу приділяють значну увагу визначенню й постійному перегляду й уточненню державних науково-технологічних і інноваційних пріоритетів відповідно до проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, у тому числі й з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем [5].

При цьому, говорячи про зміну парадигми розвитку світової економіки, необхідно відзначити таке [6]:

- у технологіях відбувається перехід до наномасштабів, що дає можливість маніпулювати атомами й молекулами речовини;
- відбувається зближення й взаємопроникнення органічного й неорганічного світів. Займаючись неорганічними моделями, людство впритул підійшло до принципів, на яких базується жива природа, причому тільки починаючи їх правильно розуміти й використовувати;
- *міждисциплінарність нанотехнологій*, тобто це надгалузева сфера досліджень і технологій, що інтегрує спеціалізовані природонаукові дисципліни в нове природознавство XXI століття. Працюючи з атомами й складаючи з них нові речовини, дослідник тепер буде не просто хіміком, фізиком або інженером, а знову, як у часи Ньютона, натуралістом на новому, атомарному рівні знань.

Таким чином, у будь-якій галузі людської діяльності прогрес у найближчі 10 – 20 років буде пов'язаний, насамперед, з атомно-молекулярними побудовами. Інтеграція окремих компонентів на атомно-молекулярному масштабі приводить до досить складного поведіння й різкого ускладнення залежностей, що зв'язують процеси на молекулярному рівні з тими кінцевими властивостями макросистем, які визначають цінності людського життя. У процесах на рівні наномасштабів виявляються об'єднаними ті характеристики й властивості, які на більш високих рівнях вивчення описуються окремо *біологією, фізикою, хімією* (узагальнено, *нанонаукою*) та інформаційними технологіями. Проблема такого злиття наук на нанорівні буде винятково важливою й може мати революційне значення для подальшого розвитку науки взагалі. Тому глибинний методологічний і філософський зміст нанотехнологій полягає в тому, що вони виявляються єдиним загальним фундаментом для всіх сфер діяльності людини.

Конвергенція і інтеграція нано-, біо-, інфо- і когнитивних технологій означає не тільки їх взаємний вплив, але й взаємне проникнення, коли границі між окремими технологіями стираються і відбувається злиття цих областей в єдину науково-технологічну область знань.

Вже сьогодні стає цілком зрозумілим, що технологічні можливості, які відкриваються в процесі NBIC-конвергенції, невідворотно призведуть до серйозних культурних, філософських і соціальних потрясінь. Зокрема це відноситься до перегляду традиційних уявлень про такі фундаментальні цінності як життя, розум, людина, природа, існування.

Історично ці категорії формувалися і розвивалися в межах тривалої і повільної трансформації людського суспільства. Можливо, що вже незабаром людству доведеться перейти від визначеності, яка заснована на повсякчасному

досвіді, до розуміння того, що в реальному світі не існує чітких меж між багатьма явищами, які раніше вважались дихотомічними. Перш за все, у світі останніх досліджень, зникне звична різниця між живим і неживим. З точки зору психології, уявлення про існування дихотомії «живе – неживе» зникне з появою ефективних автономних роботів, особливо антропоморфних [1].

Крім того, поступово зникає різниця між системою, що мислить, має розум і волю, і жорстко запрограмованою. Поява сильного штучного інтелекту буде означати, що визначені алгоритми поведінки, з *одного боку*, можуть бути жорстко запрограмованими і повністю зрозумілими для програмістів, а з *іншого* – можуть реалізовувати розумну поведінку у комп'ютерів і роботів. Стирання меж між живим і неживим може лишити смислу «абсолютне» розуміння життя. Але якщо немає нічого «абсолютно» живого, то багато традиційних цінностей також розмиваються. Вже сьогодні живі істоти створюються «штучно» – за допомогою генної інженерії. Вже недалеко той час, коли стане можливим створювати складні живі істоти (в тому числі за допомогою нанобіотехнологій) з окремих елементів молекулярних розмірів. Тобто, крім розширення меж людської творчості, це незворотно буде означати трансформацію нашого уявлення про народження та смерть.

Розвиток гуманоїдних роботів і надання їм штучного інтелекту призведе до стирання меж між людиною і роботом.

Також багатозначним є питання про те, що називати природою. З розвитком нанотехнологій людство може узяти під розумний контроль багато процесів на планеті.

Чи є в Україні шанс здійснити інноваційний прорив у шостий технологічний уклад і забезпечити у ХХІ столітті економічне і соціальне процвітання країни? Сьогодні на це питання неможливо відповісти однозначно.

Для цього необхідно здійснювати регулярне технологічне прогнозування в країні. Оцінити наявність в Україні проривних досліджень і розробок, насамперед, в області NBIC-технологій, а також визначити можливість їх комерціалізації і вплив на економічний розвиток країни. Ті з NBIC-технологій, які є масштабними, необхідно визнати перспективними і сконцентрувати матеріальні, інтелектуальні і фінансові ресурси, що є в наявності, на їх доведенні до рівня комерціалізації і широкого розповсюдження у різних сферах економіки.

# 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних проблем людства

---

## 1.1. Перспективи формування шостого технологічного укладу

Метою будь-яких технологічних інновацій було і залишається покращення або «збагачення» умов існування людини і, як наслідок, вирішення *глобальних проблем* і викликів, що стоять перед людством в цілому, а також для кожної країни з урахуванням специфіки її розвитку. З урахуванням Доповідей провідних вчених світу, що входять до Римського Клубу, а також конференцій та саммітів ООН, рекомендації яких для країн світу отримали практичне втілення в Декларації тисячоліття, що була затверджена резолюцією Генеральної Асамблеї ООН 8 вересня 2000 р. [7], була отримана класифікація глобальних проблем, що наведена на *рис. 1.1* [8].

Як видно з *рис. 1.1*, глобальні проблеми, що відносяться до матеріальної фери, доцільно класифікувати таким чином [4]:

- депопуляція і старіння населення;
- нестача продовольства;
- екологічні проблеми;
- вичерпання запасів ряду видів сировини і палива;
- енергетика та енергозбереження;
- зростаюча нерівність між багатими і бідними країнами в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу в країнах, що розвиваються.

На вирішення вказаних проблем повинні бути спрямовані науково-технічна та інноваційна політика, а також національні проекти практично будь-якої держави. Спеціалісти з технологічного прогнозування (*technology foresight*) пропонують науково обґрунтовані прогнози, які безумовно необхідно враховувати при розгляді механізмів вирішення глобальних проблем людства, що напряму залежать від стадії економічного і технологічного розвитку країни.

Сьогодні існує велика кількість економічних теорій, які намагаються надати прогноз соціально-економічного розвитку суспільства. Широко відомі теорії західних спеціалістів з теорії постіндустріального суспільства і футурології,

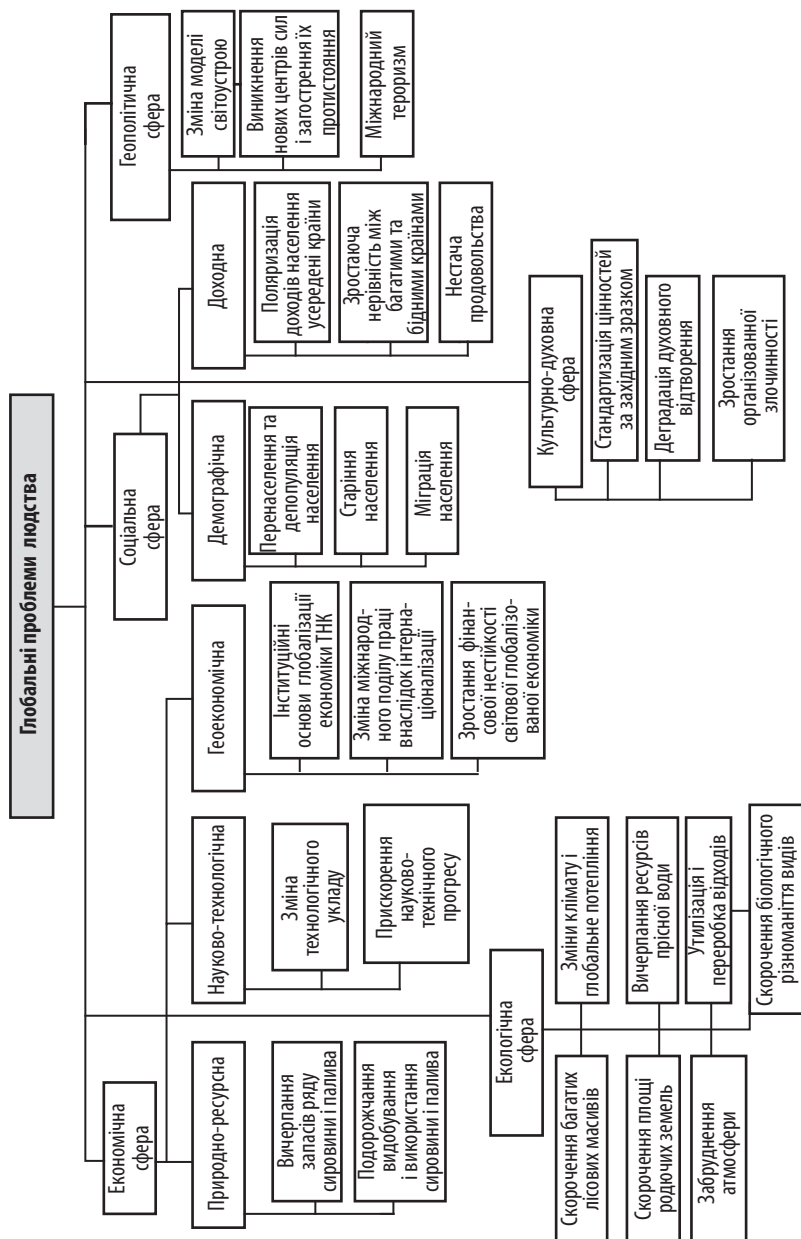


Рис. 1.1. Класифікація глобальних проблем людства

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

а саме: Д. Белла, П. Дракера, Дж. Гелбрейта, Ф. Фукуяма, Л. Туроу, М. Кастельса – провідних спеціалістів з питань постіндустріальної теорії; Л. Едвінсона, О. Тоффлера, Т. Стюарта, Ч. Хенді, Т. Сакайя – фахівців з проблем управління і теорії сучасної корпорації; А. Гора, Д. Мідоуза, Р. Райха, П. Пільцера, С. Хантингтона, Р. Інглегарта, Е. фон Вайцзеккер – найбільш відомих експертів з проблем екологічної безпеки і відносин із «третім світом» [9]. В роботах цих вчених виокремлюються три основних типи економіки, які наведені у *табл. 1.1*.

Таблиця 1.1

### Три основні типи економіки

№ з/п	Умовна назва економіки	Основні види діяльності
1.	Доіндустріальна	Видобуток та первинна переробка корисних копалин, відстале сільське господарство, найпростіші послуги
2.	Індустріальна	Розвинена індустрія, сучасне сільське господарство, транспорт, телекомунікації, високоякісна професійна освіта, сервіс, туризм
3.	Постіндустріальна	Переведення економіки на інноваційний шлях розвитку: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ вироблення фундаментальних знань і розробка на їх основі принципово нових видів продукції та послуг, а також високих технологій (нано-, біо-, інформаційних технологій, штучного інтелекту);</li><li>▪ виведення великотоннажних екологічно небезпечних виробництв у країни з доіндустріальною та індустріальною економікою;</li><li>▪ розвиток освіти і культури, сфери відпочинку і розваг</li></ul>

Крім того, існує й багато критичних поглядів на згадані теорії [10].

Прогнозуванню розвитку постіндустріального суспільства присвячено також багато робіт сучасних російських вчених, а саме: В. Іноземцева [11 – 15], С. Глаз'єва [16 – 19], Ю. Яковця [20 – 24], Б. Кузика [25 – 26], А. Бузгаліна і А. Колганова [27], Б. Мільнера [28], Е. Янча [29], В. Полтеровича [30], В. Іванова [31], А. Динкіна [32], В. Кушліна [33] тощо.

Прогнозуванням напрямків розвитку сучасного суспільства займається і багато українських вчених, зокрема: В. Геєць [34 – 37], В. Семиноженко [38 – 40], А. Гальчинський [41], А. Чухно [42 – 43], А. Філіпенко [44], Л. Федулова [45 – 46], М. Згуровський [47 – 48], В. Соловійов [49 – 50], Б. Малицький і О. Попович [51], Л. Мельник [52], Я. Жаліло і С. Архіреєв [53], Т. Цихан [54], Т. Близнюк [55], М. Кизим і О. Ястремська [56 – 57], Л. Антонюк і А. Поручник [58], М. Йохна і В. Стадник [59], О. Волков і М. Денисенко [60], О. Мазур і І. Гагауз [61], А. Нікіфоров [62], О. Саліхова [63], П. Бубенко [64] та інші.

Відповідно до згаданих прогностичних оцінок перспективних напрямів розвитку постіндустріального суспільства існує велика кількість моделей економічного розвитку, основні з яких наведені на *рис. 1.2* [14, 44, 51, 53, 65, 66].



Як видно з *рис.1.2*, індустріальний уклад характеризуються моделлю економіки наздоганяючого розвитку, якій притаманні: копіювання, запозичення, розрахунок на власні сили. *Постіндустріальний уклад*, у свою чергу, характеризується моделлю економіки випереджального типу, якій відповідають такі чинники: кооперування, інновації, розрахунок на власні сили.

Сьогодні серед економістів немає чіткого визначення, що таке *розвинена країна*. На думку більшості фахівців, найкращий показник розвитку країни – це валовий внутрішній продукт (ВВП) на душу населення. Якщо в країні ВВП на душу населення складає не менше 50% від американського, то це – розвинена країна. Наприклад, дуже близькі до цього рівня Словенія, Чехія, Словачія – колишні соціалістичні країни Європи [30]. Усі країни намагаються стати розвиненими, але за останні 60 – 70 років не більше десятка країн подолали цю прірву у розвитку: Японія, Південна Корея, Тайвань, Гонконг, Сінгапур, а також відстали у минулому країни Західної Європи: Португалія, Греція, Іспанія (хоча сьогодні вони зазнають великі проблеми і, вочевидь, відкочуються назад).

Якщо проаналізувати досвід держав, що швидко розвинулись за останні роки, то стає зрозумілим, що спочатку їм знадобився певний час, щоб наздогнати передові країни, були, головним чином, роками *запозичень* на основі придбаних патентів або прав на використання з метою *модернізації* технологічної бази економіки і підвищення продуктивності праці. І тільки на другому етапі країни поступово переходили до фази *інноваційного* зростання.

*Інновації* – це створення принципово нового, тобто такого, чого ще не знає світовий ринок. Але ж є ще й кардинально нове для окремої країни, галузі, регіону – те, що існує у світовій практиці і може бути запозичене. Наприклад, це можуть бути деякі провідні технології або методи господарювання. Те ж саме можна сказати і про регіони, які досить сильно відрізняються між собою за добробутом, за технічним рівнем, за рівнем освіти населення тощо.

*Модернізація* – це запозичення досвіду, що дозволяє робити щось вже відоме ефективніше, ніж зараз. *Запозичення* – це взагалі складний і творчий процес, який відразу ніколи не вдається: потрібно відтворити і адаптувати механізми і процедури, необхідно також заглибитись в проблему конструювання зразку, і завдяки цьому, можливо, вдасться вдосконалити запозичений зразок і навіть одержати перевагу. При цьому відбувається наближення до «передової» технологічної межі й виникає парадоксальна ситуація: чим ближче знаходимось до передового технологічного зразку, тим більший науковий компонент повинен бути присутнім в процесах запозичення. Таким чином, можна сформулювати такий принцип: *чим вище рівень технологічного розвитку, тим менше просте запозичення буде відповідати вирішенню необхідних завдань*. Тобто наявність



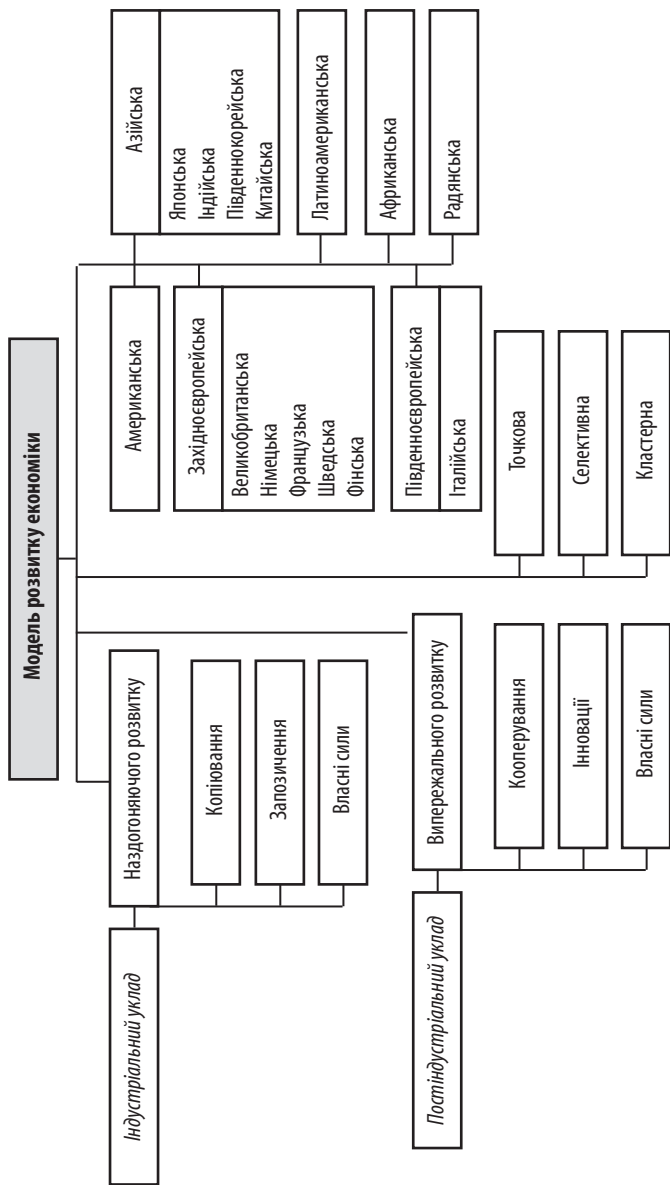


Рис. 1.2. Основні моделі розвитку економіки

у розвинених країнах захисту інтелектуальної власності (патентів, ліцензій тощо) вимагає від країн, що розвиваються, використовувати ті технології, для яких терміни патентного захисту закінчилися. Коли ж країна наближається до провідних технологічних лідерів, то для того, щоб освоїти передову технологію, потрібно буде прикласти значно більше зусиль і витрати значні кошти на придбання патенту. Як наслідок, у процесі переходу від модернізації до фази інноваційного розвитку країни будуть потребувати все більш широкого акцентування на власні дослідження і орієнтації на найбільш прогресивні і передові світові досягнення [30].

Ідея негайно будувати інноваційну економіку, для чого необхідна концентрація на тих напрямках, в яких, наприклад, Україна «зберігає конкурентні переваги» і має шанси обігнати розвинені країни, як правило, пов'язана з практикою примітивної імітації. Ця логіка призводить до дуже витратних спроб трансплантувати інститути, які працездатні тільки у провідних економіках. Але, як показує практика, проста імітація західних механізмів і процедур з метою досягти аналогічних результатів ще ніколи не була успішною.

Досвід Японії, Південної Кореї, Тайваню, а також таких європейських країн, як Фінляндія та Ірландія, свідчить про те, що для серйозного ривку і перетворення у заможні країни вони використовували шлях інтенсивних запозичень передового технологічного досвіду і тільки потім здійснювали поступовий перехід до власної інноваційної активності. Причому Фінляндія для досягнення успіху використала ті самі методи, які у свій час застосовували Японія і Корея, – так звану «*перевагу відсталості*», що означає можливість заповнити розрив запозиченими технологіями, підняти при цьому рівень людського капіталу і знизити ефект впливу корупції.

У той же час, теоретично для багатьох технологічно відсталих або недостатньо розвинених країн існує можливість *ліпфродгінгу* (leap-frog – перестрибнути) – можливості переходу до використання найновіших технологій, «перестрибнувши» деякі проміжні стадії [67]. Один з найяскравіших проявів ліпфродгінгу сьогодні пов'язаний з технологіями комунікацій, коли країни, що розвиваються, які не мали раніше функціональних телефонних інфраструктур, вводять на своїй території стільниковий зв'язок. Це дозволяє країнам, що розвиваються, просуватися вперед набагато швидше, ніж та швидкість, з якою розвинені нації створювали технології попереднього покоління. Крім того, прискорене впровадження нових технологій приводить, особливо на першому етапі, не стільки до змін в економіці або в соціальному житті, скільки до зміни стилю мислення людей: розвитку більш конструктивного і активного підходу, більш структурованого і аналітичного мислення, появи необхідних для ефективного функціонування у новій реальності навичок.

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

Таким чином, можна зробити відносно порівняння [24, с. 250] двох можливих шляхів розвитку «відсталих» країн, що мають за мету наблизитись до рівня розвитку провідних країн – технологічних лідерів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

### Співставлення традиційного суспільства і суспільств з наздоганяючим і випереджальним типом економічного розвитку

№ з/п	Традиційне суспільство	Суспільство наздоганяючого розвитку (модерне)	Суспільство випереджального розвитку (інноваційне)
1	База відтворення – традиційний досвід	База відтворення – запозичення і модернізація	База відтворення – інновації
2	Доіндустріальне	Індустріальне	Постіндустріальне
3	Колективізм	Трансформація суспільної свідомості до переваг індивідуалізму	Індивідуалізм
4	Авторитарна влада	Поява нестійких демократичних тенденцій	Демократія
5	Економічне життя, орієнтоване на сьогоднішнє	Поява тенденцій до відкладення попиту	Превалює відкладення попиту і накопичення
6	Напрацювання довготривалих доктрин	Спрощення духовного життя	Поява нових духовних потреб
7	Первинні сильні соціальні зв'язки	Вторинні сильні соціальні зв'язки (інститути)	Вторинні слабкі соціальні зв'язки
8	Недовіра до інших	Ознаки появи толерантності	Толерантність

На думку деяких зарубіжних експертів, інноваційний шлях розвитку – це безумовно єдиний спосіб економічного зростання для *розвинених країн*. Але, наприклад, на думку професора Каліфорнійського університету в Лос-Анжелісі Д. Трейсмана [68] для *країн, що розвиваються*, при їх орієнтації на інноваційний розвиток, постає ряд питань:

- 1) Якщо інновації – це ключовий фактор економічного зростання, то *інноваційні країни повинні зростати більш швидко*. Але досвід, наприклад, Британії, показує, що коли в минулому вона була технологічним лідером, вона зростала значно повільніше, ніж Бразилія, США і Канада, які сильно відставали від неї технологічно;
- 2) *Інновації повинні генерувати зайнятість*. Але це спірне питання: інколи вони створюють робочі місця, генеруючи нові продукти і попит на них, а інколи – знищують ці місця, замінюючи людську працю інноваційними методами виробництва;

3) *Впровадження інновацій в країнах, що розвиваються*, – це дуже витратний спосіб зростання. Сьогодні у світі є велика кількість прикладів більш дешевих способів зростання, наприклад, адаптація існуючих технологій, скорочення витрат. Тому існує певний скепсис по відношенню, наприклад, до російського інноваційного мегапроєкту Сколково – це не заміна основним ринковим реформам і покращенню захисту власності. На думку західних експертів, Сколково не дасть сильного приросту валового внутрішнього продукту.

Отже, розглянемо вплив технологічних інновацій на економічний розвиток суспільства, оскільки саме вони забезпечують періодичне інноваційне оновлення усєї сфери виробництва товарів і послуг, матеріально-технічної бази суспільства.

Як відомо, одним з перших економістів, що запропонували історичну періодизацію економічного життя згідно з довгими хвилями (циклами) тривалістю приблизно п'ятдесят років, став, як відомо, М. Д. Кондратьєв [69 – 70]. Для емпіричного доказу існування великих циклів він дослідив рух індексів товарних цін, курсів деяких цінних паперів, заробітної платні в ряді галузей, зовнішньоторгових обігів, видобутку і споживання вугілля, а також виробництва чавуну і свинцю (на матеріалах Англії, Франції, Німеччини і США). Кондратьєв одержав тренди, які виявили явно виражений циклічний малюнок з періодичністю в 50 – 60 років. Це дозволило виділити такі цикли в динаміці світової економіки: кінець 80-х років XVIII століття – 40-і роки XIX століття, середина 40-х – кінець XIX століття, кінець XIX століття – 20-ті роки XX століття.

Ці ідеї були розвинуті австро-американським економістом Й. Шумпетером, який, приймаючи в цілому підхід Кондратьєва, наполягав на інноваційній природі довгих циклів [71 – 72]. Шумпетер виділив такі п'ять типів інновацій: виготовлення нового, ще невідомого споживачам блага або створення нової якості того чи іншого блага; впровадження нового методу (способу) виробництва, в тому числі й нового способу комерційного використання товару; освоєння нового ринку збуту, незалежно від того, існував цей ринок раніше, чи ні; одержання нових джерел сировини або напівфабрикатів; здійснення відповідної реорганізації, наприклад, забезпечення монопольного положення (через створення тресту) або підрив монопольного положення іншого підприємства.

Монополію, яка забезпечує тимчасові надприбутки за рахунок новаторської діяльності, Шумпетер називає ефективною. Надприбуток ефективною монополією на відміну від звичайного монопольного прибутку зникає по мірі того, як нововведення розповсюджуються по всій економіці. Для одержання нового надприбутку необхідні нові інновації. І так далі – до нескінченності. Тому

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

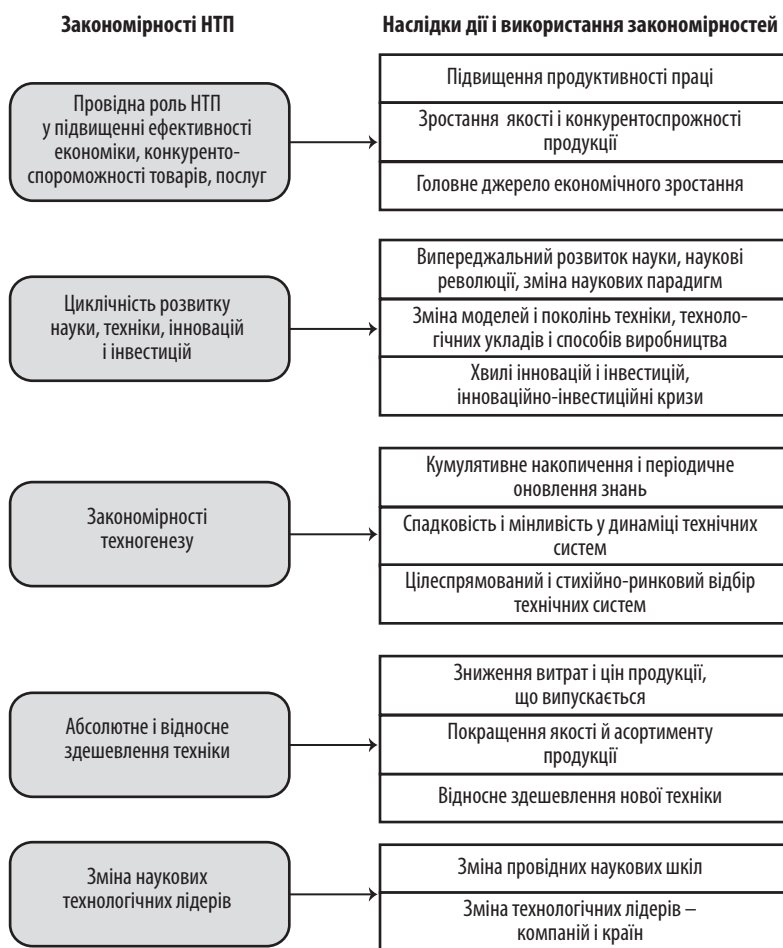
в сучасному світі вміння їх «вироснути» стає одним з головних умов виживання.

Визнаючи унікальність умов кожного циклу з точки зору рівня продуктивності сільського господарства, умов торгівлі і добутку природних ресурсів, динаміки цін і ставок процентів, головні причини економічних флуктуацій він бачив в іншій площині. Шумпетер розвинув гіпотезу Кондратьєва, представивши економічний розвиток як послідовність висхідних пульсацій, обумовлених розповсюдженням відповідних кластерів взаємопов'язаних нововведень. Він підкреслював, що цей процес такий, що саморегулюється, і має характерну форму хвилі. Нове, як правило, не виростає із старого, а з'являється і конкурує разом з ним, витискує старе з повсякдення. «Творча руйнація», що викликана кластером нововведень, призводить до спаду в старих галузях, однак потім, з певним часовим лагом, – до розширення нових. Тому наступному технологічному підйому буде передувати структурна перебудова, а подальший розвиток може визначатися вже новими умовами, новими країнами і новими людьми [72].

Більшість результатів, одержаних в сучасних теоріях довгих хвиль, підтверджує той факт, що характер 200-річного соціально-економічного розвитку у світовому господарстві кореспондує з гіпотезою довгих хвиль [16 – 18]. Найбільш впливовим стало розуміння довгих хвиль як зміни і розповсюдження *техніко-економічних парадигм*. Технологічна парадигма за аналогією з науковою парадигмою визначається як домінуюча область рішення проблем, застосування домінуючих процедур і методів, сукупність принципів, що витікають з вже досягнутого рівня наукових знань, і така, що супроводжується розповсюдженням кластерів базисних технологій.

*Радикальні нововведення*, що є в основі кожної нової технологічної парадигми, володіють високим потенціалом ринкового проникнення. Їх впровадження, як першим показав Шумпетер, забезпечує підприємцям додатковий прибуток. Цей прибуток стимулює масові капітальні вкладення в нові технології, які через визначений час приносять зростаючу масу додаткового прибутку. Він знову капіталізується в інтересах розширення нових високоефективних виробництв. Одночасно з цим відбувається впровадження різноманітних нововведень, що покращують та доповнюють, а також економія на масштабах та підвищення економічної ефективності. Таким чином, *встановлення нової технологічної парадигми – це лавиноподібне розповсюдження нових виробництв разом із підвищенням їхньої ефективності в ході чергового довгохвильового підйому*.

Дослідження, виконані Кондратьєвим і Шумпетером, а також сучасними вченими, показали, що розвиток науки, техніки, інновацій підкоряється закономірностям, що наведені на *рис. 1.3* [20 – 26].



**Рис. 1.3. Закономірності науково-технічного прогресу (НТП)**

Суттєвий вклад у розвиток ідеї довгих хвиль економічного розвитку Кондратьєва – Шумпетера вніс англійський економіст, дослідник проблем технічного прогресу К. Фрімен [73]. Він почав розглядати довгохвильовий підйом не тільки як результат впровадження радикальних нововведень в одній або декількох галузях та їх наступного зростання, але і як процес технологічної дифузії від декількох секторів, що лідирують, до всієї економічної системи. Він також звернув увагу на те, що широке розповсюдження технологій стає можливим в результаті ряду соціальних й інституціональних змін: кооперація в підприємницькому секторі, організація науково-дослідної діяльності, рівень участі держави у стимулюванні інноваційної діяльності, національні і міжнародні режи-

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

ми економічного регулювання. Створення оргструктур та інституціональних умов для сполучення централізованої координації і стимулювання інвестиційної активності з максимальним залученням підприємців до створення і розвитку нових технологій стає самостійною функцією, яку виконують *національні інноваційні системи*.

Відомий російський економіст С. Глазьев підкреслює, що «вихід на зовнішні ринки тісно пов'язаний із домінуючими в різних країнах *технологічними системами виробництва (технологічними укладами)*. Зараз в розвинених країнах світу ядро економіки складають галузі п'ятого технологічного укладу – мікроелектроніка, гена інженерія, космічні технології, засоби автоматизації і зв'язку, біотехнології. У країнах, що розвиваються, домінують третій і четвертий технологічні уклади» [16].

Технологічний уклад має складну внутрішню структуру, **ядром** якої вважається сукупність *радикальних (базисних) технологій*. Це принципово нові технології (нововведення), що створені на базі раніше невідомих законів і закономірностей, винаходів, відкриттів, які докорінно змінюють зміст різних видів діяльності в суспільстві. Після їх впровадження вони стають інноваціями.

Хвильовий характер виникнення радикальних нововведень впливає на динаміку розвитку промисловості та економіки в цілому. Саме оновлення технологічної бази кожного окремого підприємства викликає зміни в перебудові господарської системи та її організаційної структури, зміни технологічної структури усіх рівнів. Радикальні (базисні) технології – це основа нових галузей промисловості та багатьох прикладних технологій, які використовуються для модернізації існуючого виробництва. Завдяки сучасним технологіям випускається дедалі більше різноманітних виробів, що дає споживачам можливість широкого вибору аж до індивідуалізації продукту чи послуги [23].

Радикальні нововведення виникають у період, коли технологічний уклад вичерпав можливості свого вдосконалювання і виникла необхідність у новому технологічному укладі. *Поява нововведень у такий період свідчить про початок формування нового технологічного укладу, що сприяє істотному підвищенню темпів економічного розвитку*. В цей період ядро укладу відкрите, а в проміжках між новоутвореннями технологічного укладу ядро функціонує в закритому (замкненому) режимі, здобуваючи структурну стійкість і рівновагу [12, с. 275 – 293].

У 80-ті роки ХХ століття в центрі дискусії знову з'явилися питання розробки єдиної концепції періодизації, яка пов'яже у цілісну картину економічні, технологічні і соціально-політичні фактори розвитку. Найбільш успішними стали спроби інтегрувати в періодизацію довгих хвиль технологічні фактори циклів,



принципи організації науки і освіти, стану інфраструктури і наявності універсального дешевого ресурсу, який стає основою структурних зрушень у виробництві. У *табл. 1.3* наведено періодизацію основних хвиль інноваційного розвитку згідно з М. Кондратьєвим, Й. Шумпетером, К. Фріменом, С. Глазєвим [16 – 18, 69 – 73], а також пропонується точка зору експертів [24 – 26, 32, 37 – 39, 44, 54 – 55, 74 – 80] та авторів на перспективи соціально-економічного розвитку на період 2030 – 2080 рр. [3, 81 – 82].

Якщо тривалість п'ятого, як і інших циклів, складе приблизно 50 років, то стадія зрілості технологій, що його формують, ще попереду. В той же час, у рамках п'ятого циклу, як і в попередніх, починають складатися контури *нового шостого укладу*. Російськими вченими, зокрема Ю. Яковцем [23, с. 145 – 146] і Б. Кузиком [26, с. 212 – 215], було запропоновано структуру шостого технологічного укладу, яка наведена на *рис. 1.4*.

У 2001 – 2002 рр. відбулася перша світова інформаційна криза. І саме в цей час почалася розробка перших поколінь техніки шостого технологічного укладу. На *рис. 1.4* видно, що базовими науково-технічними напрямками цього укладу будуть нанотехнології, біотехнологія рослин і тварин на базі досягнень генної інженерії, глобальні інформаційні мережі, воднева й інша екологічно безпечна енергетика, принципово нові види транспорту.

Авторами запропонована більш чітка схема, що характеризує структуру шостого технологічного укладу. Необхідно виділяти ключовий фактор та радикальні (базисні) технології ядра укладу, носійні галузі тощо [83].

На *рис. 1.5* наведено запропоновану авторами структуру шостого технологічного укладу, а у *табл. 1.4* – його основні характеристики.

Ключовим фактором ядра провідні фахівці світу вважають *конвергенцію NBIC-технологій*. Ядро технологічного укладу сформує наноматеріали, наноелектроніка, нанофотоніка, скануюча нанотехніка, нанометрологія, нанофабрики, наносистемна техніка, генна інженерія, кліткові біотехнології, інформаційно-комунікаційні технології, штучний інтелект. Носійними галузями будуть: авіабудування і ракетно-космічний комплекс; електроніка, електротехніка і приладобудування; інформаційно-комунікаційна галузь; освіта; атомна промисловість; ядерна і термоядерна енергетика; альтернативна і воднева енергетика; суднобудування, автомобілебудування і верстатобудування; хімічно-металургійний комплекс; продовольчий комплекс.



Таблиця 1.3.

Періодизація основних хвиль інноваційного розвитку

№ з/п	Довгі хвилі / цикли		Стан науки і освіти	Інфраструктура		Переважні технології	Універсальний ресурс
	часові рамки	країни-лідери		характеристика циклу	транспорт і зв'язок		
1	Перший 1780 – 1840 рр.	Бельгія, Великобританія, Франція	Промислова революція: фабричне виробництво текстилю	Канали і ґрунтові дороги	Гідроенергія	Водяний двигун, виплавка чавуну і обробка заліза, будівництво каналів	Бавовна
2	Другий 1840 – 1890 рр.	Франція, Бельгія, Великобританія, США, Німеччина	Цикл пару і залізних доріг	Залізні дороги, телеграф	Енергія пару	Паровий двигун, вугільна промисловість, машинобудування, чорна металургія, станкобудування	Вугіль, залізо
3	Третій 1890 – 1940 рр.	Франція, США, Великобританія, Німеччина	Цикл електрики і сталі	Залізні дороги, телефон	Електрика	Електротехнічне і важке машинобудування, виробництво сталі, неорганічна хімія, важкі озброєння, суднобудування, мережі електростанцій, стандартизація	Сталь
4	Четвертий 1940 – 1980 рр.	США, країни Європи, Японія	Цикл автомобілів і синтетичних матеріалів	Автостради, авіалінії, радіо і телебачення	Нафта	Синтетичні матеріали, органічна хімія, кольорова металургія, електронна промисловість, автомобілебудування, атомна енергетика	Нафта, пластмаси
5	П'ятий 1990 – 2030 рр. (прогноз)	США, Японія, ЄС, Південно-Східна Азія	Інформаційно-комунікаційна (комп'ютерна) революція (I)	Інформаційні мережі, Інтернет	Газ, нафта, ядерна енергія	Обчислювальна техніка телекомунікації, роботобудування, мікро- і оптоволоконні технології, космічна техніка, штучний інтелект, біотехнології	Мікроелектроніка, напівпровідники

\* AP – наукові дослідження і розробки

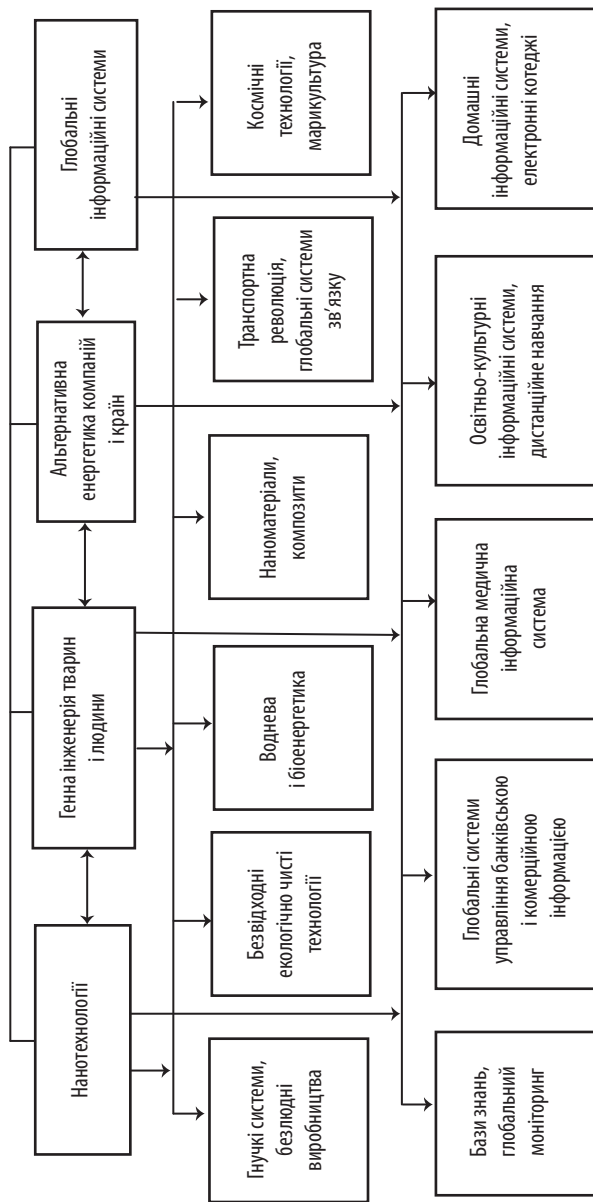


Рис. 1.4. Прогнозна структура шостого технологічного укладу

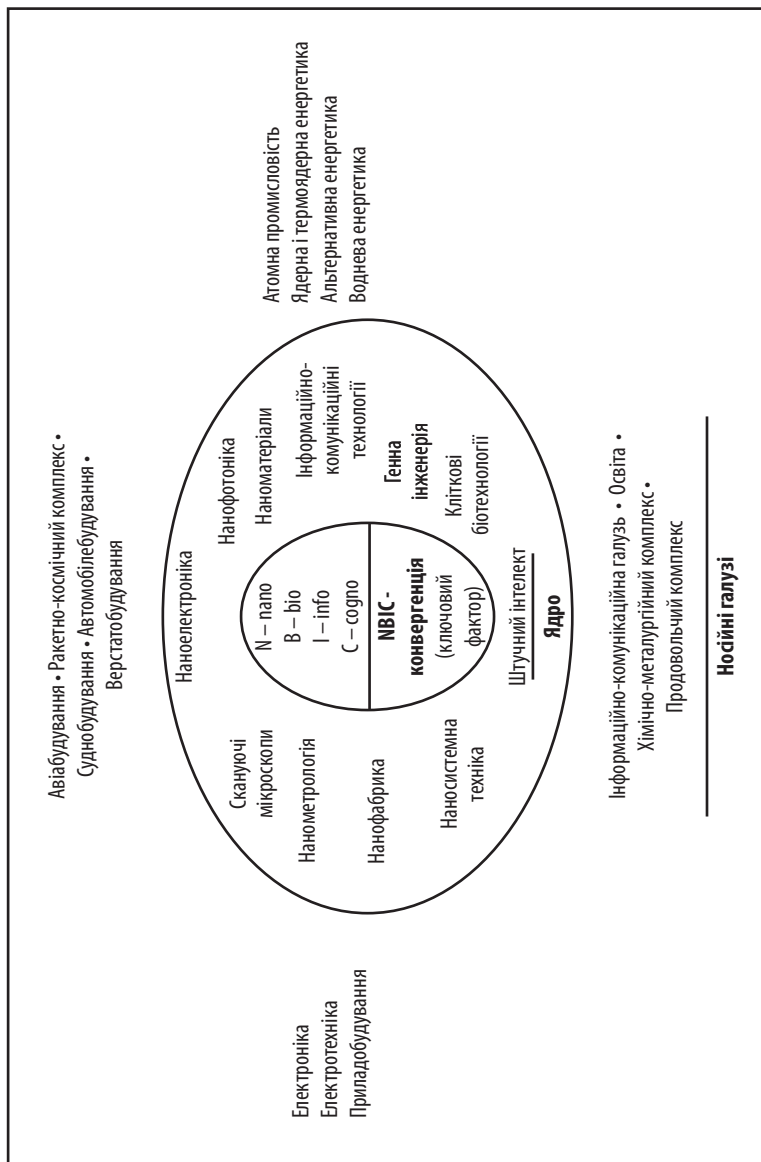


Рис. 1.5. Структура шостого технологічного укладу

Таблиця 1.4

Основні характеристики шостого технологічного укладу

№ з/п	Довгі хвилі / цикли			Стан науки і освіти	Інфраструктура		Переважні технології	Універсальний ресурс
	часові рамки	країни-лідери	характеристика циклу		транспорт і зв'язок	енергія		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Шостий Шостий 2030 – 2080 рр. (прогноз)*	США, Японія, ЄС, Китай, Південно-Східна Азія, Росія, Індія, Бразилія	Нанотехнологічна (N) та біотехнологічна (B) революція, бурхливий розвиток когнітивної (C) науки	Конвергенція NBIC-технологій, глобальний ринок послуг, мережеві науково-дослідні та інноваційні системи	Інтегровані інформаційні системи і телекомунікації, мобільний Інтернет, широкополосний доступ	Водородна та термо-ядерна енергія	Нанотехнології, біотехнології і гена інженерія, мембранні і квантові технології, фотоніка, мікро(нано)-механіка, термоядерна енергетика, штучний інтелект	Наноелектромеханічні системи, біопроцесори, пристрої з прямим доступом до нейронів*

\* на думку експертів і авторів.

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

Одночасно це буде періодом становлення постіндустріального технологічного способу виробництва, який буде носити гуманістично-ноосферний характер і радикально змінить технологічний обрис планети на найближче століття.

### **1.2. Конвергенція NBIC-технологій як ключовий фактор нового технологічного укладу**

Сьогодні для більшості експертів у галузі стратегічного планування, науково-технічної політики та інвестування стало чітко визначеним, що у найближчому майбутньому людство чекає **нанореволюція** у всіх галузях науки, виробництва, медицини, національної безпеки, побуту, відпочинку і розваг. При цьому її наслідки будуть ще більш масштабними і якісно новими, ніж від *комп'ютерної* революції останньої третини ХХ століття та *біотехнологічної* революції останнього десятиліття минулого століття. Крім того, бурхливий прогрес на початку ХХІ століття *когнітивної* науки – міждисциплінарної галузі досліджень, що вивчає закономірності одержання, зберігання і використання знань людства, – оцінюється багатьма вченими як початок нової наукової революції. Саме нанотехнології стають тією з'єднуючою ланкою між іншими революційними технологічними напрямками, які виникли за останні 20 – 30 років, і дозволяють одержати якісно нові можливості від *конвергенції* цих напрямків і розвитку кожного з них для усіх сфер суспільного життя.

Сьогодні технології визначають такий ключовий показник розвитку економіки як *середню продуктивність праці*. До цих технологій відносяться технології виготовлення і використання знарядь праці, виробничі процеси і бізнес-процеси. Так, наприклад, за допомогою нанотехнологій, а саме молекулярного виробництва, за прогнозами спеціалістів, стане можливим створення матеріальних об'єктів з надзвичайно низькою собівартістю.

З розвитком конвергенції NBIC-технологій вперше в історії людства спостерігається паралельне прискорення розвитку декількох науково-технічних напрямків, що безпосередньо впливають на суспільство. Відповідно, розвиток NBIC-технологій призведе до стрибка у можливостях виробничих сил [84, с. 72].

Термін **NBIC-конвергенція** було введено Майклом Роко і Уільямом Бейнбріджем у звіті за 2002 р., підготовленому в рамках Всесвітнього центру оцінки технологій (WTEC) [85 – 87]. Звіт був присвячений особливостям NBIC-конвергенції, її значенню у загальному ході технологічного розвитку світової цивілізації, а також її еволюційному і культурологічному значенні. Сутність NBIC-конвергенції полягає у *злитті чотирьох революційних науково-технологічних напрямків*: *N* – нанотехнологій; *B* – біотехнологій; *I* – інформаційно-комунікаційних технологій; *C* – когнітивних наук [87].

Конвергенція – це не тільки взаємний вплив, але й взаємне проникнення технологій, коли межі між окремими технологіями стираються, націкавіші й неочікувані результати з'являються саме в рамках міждисциплінарної роботи на стику наук. І саме в рамках *NBIC-конвергенції* вже сьогодні відбувається часткове злиття науково-технологічних напрямів в єдину науково-технологічну галузь знання [84, с. 48 – 49].

Враховуючи дослідження, основані на аналізі наукових публікацій, візуалізації результатів взаємного цитування і кластерного аналізу, була побудована схема мережі найновіших технологій [88]. Автори цього дослідження (К. Борнер та інші) взяли за основу матеріали кількох тисяч наукових журналів, згрупували близькі за тематикою журнали за допомогою кластерного аналізу, базуючись на частоті взаємного цитування [89]. Таким чином, на одній схемі була показана уся цілісна картина сучасної науки. Крім того, в роботах російських авторів з проблем трансгуманізму вказану мережу було допрацьовано у карту перетинання найновіших технологій [84, с. 49].

Враховуючи вказані дослідження можна скласти спрощену *карту конвергенції нових технологій*, наведену на *рис. 1.6*. Розташовані на периферії карти основні сфери найновіших технологій утворюють спільні області взаємних перетинань. На цих стиках використовуються інструменти і напрацювання однієї галузі для розвитку іншої. Іноді вчені виявляють схожість об'єктів, що вивчаються, які належать різним областям науки і технологій.

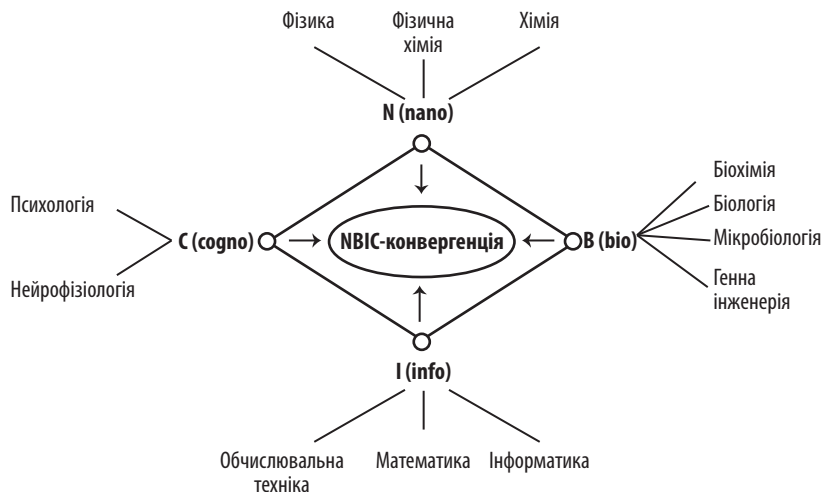


Рис. 1.6. Карта конвергенції нових технологій

З появою всього кілька десятиліть тому інформаційних технологій, які спочатку розглядалися просто як ще одна нова технологія, сьогодні докорінно змінюються погляди на галузевий характер економіки. Саме інформаційні технології – це перші технології, що мають надгалузевий характер, без використання яких немає прогресу в жодній відомій галузі: це й телемедицина, і дистанційне навчання, і автоматичні системи управління станком, автомобілем, літаком, кораблем тощо. Тобто інформаційні технології не просто стали додатковою ланкою разом з існуючими дисциплінами, а об'єднали їх і стали загальною методологічною базою [90].

З розвитком нанотехнологій, які виконують таку ж надгалузеву роль і на відміну від інформаційних технологій – матеріальні, утворюється принципово новий фундамент будь-якої галузі промисловості у вигляді принципово нового атомно-молекулярного способу конструювання нових матеріалів. Тобто, нанотехнології – це принципова модернізація усіх існуючих дисциплін і технологій на атомарному рівні, це фундамент для розвитку усіх без виключень галузей економіки постіндустріального суспільства.

Таким чином, з появою цих перших надгалузевих технологій і наук поряд із традиційною лінією розвитку науки – аналізом, остаточно сформувалась нова – лінія *синтезу*, коли людство одержало можливість синтезувати штучні матеріали, яких не існує в природі і які мають властивості, відмінні від тих, що мають існуючі в природі речовини. Наразі з появою якісно нової науково-технологічної бази є можливість контролювати процеси, що відбуваються на атомно-молекулярному рівні, змодельовати і запрограмувати результат за допомогою суперкомп'ютеру. Тобто інформаційні технології надають інструменти для розвитку інших, зокрема за рахунок моделювання різних процесів.

Крім того, сьогодні відбувається зближення органічного світу (живої природи) з неорганічним. Біотехнології надають інструментарій і теоретичну основу для нанотехнологій і когнітивної науки, а також для розвитку інформаційних (комп'ютерних) технологій. Наприклад, створені особливі послідовності ДНК, які примушують синтезовану молекулу ДНК згоратися у двомірні і тримірні структури будь-якої конфігурації. Такі структури можуть бути використані як риштовання для будівництва наноструктур і, в майбутньому, для синтезу білків, що виконують задані маніпуляції речовиною на нанорівні. А це є одним з напрямів для розвитку наномедицини (і нанобіології) – комплексу технологій, що дозволяють управляти біологічними процесами на молекулярному рівні. Прикладом взаємопроникнення неорганічного і біоорганічного світів є також поєднання, в першу чергу, твердотільної мікроелектроніки з «конструкціями», створеними живою природою, тобто створення біоробототехнічних систем [91].

В результаті – принципово змінюється підхід до організації дослідницької роботи – від вузькоспеціального до міждисциплінарного методу проведення наукових досліджень. Таким чином, основними рисами сучасного етапу розвитку наукової сфери є [90]:

- 1) перехід до нанорозміру, зміна парадигми розвитку від аналізу до синтезу;
- 2) зближення і взаємопроникнення неорганічного і органічного світу живої природи;
- 3) міждисциплінарний підхід замість вузької спеціалізації;
- 4) повернення до єдиної цілісної картини світу.

Враховуючі вказані вище взаємозв'язки, у наукових колах розвинених країн була створена наукова концепція злиття NBIC-галузей науки і технологій в *єдину науково-технологічну область знань*. Сьогодні спостерігається виникнення нової цілісної науки, заснованої на матеріальній єдності навколишнього світу. Така область знань буде включати в предмет свого вивчення практично всі рівні організації матерії: від молекулярної природи речовини (нано), до природи життя (біо), природи розуму (когно) і процесів інформаційного обміну (інфо). В принципі, така теорія дозволяє наблизитися до створення нової науково-технічної картини світу, заснованої на уявленнях про складну єдність матеріального світу, обумовлену ієрархічністю, взаємозв'язком і трансформацією його компонент [87].

Тобто NBIC-конвергенція – це *радикально новий етап науково-технічного прогресу*, який не має аналогів за ступенем впливу на людську цивілізацію. Відмінними особливостями NBIC-конвергенції є [84, с. 58]:

- інтенсивна взаємодія між вказаними NBIC науковими і технологічними областями;
- значний синергетичний ефект;
- широкий сфера предметних областей, що розглядаються і підвладні впливу, від атомарного рівня матерії до розумних систем;
- перспектива якісного зростання технологічних можливостей індивідуального і суспільного розвитку людини.

Концепція NBIC повинна привести не тільки до створення абсолютно нових товарів, послуг, матеріалів і пристроїв, але й до створення якихось типів виробництв, що не мають ще назви, засобів медичного обслуговування, транспортних систем і навіть принципово нових методик наукового дослідження, заснованих на застосуванні одночасно усього комплексу засобів, які напрацьовані у фізиці, хімії, біології, математиці, інформатиці тощо [87]. Тобто за своїми



## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

наслідками NBIC-конвергенція є найважливішим еволюційно-визначальним фактором: розвиток вказаних технологій вплине на усі сторони життя людини (і багато з них змінить радикально), а сама еволюція людини перейде під її власний розумний контроль [84].

Вироблення комплексного і послідовного підходу до такої складної проблеми, як конвергенція технологій, повинне базуватися, перш за все, на:

- вирішенні глобальних проблем людства;
- підвищенні продуктивності праці;
- створенні принципово нових товарів і послуг.

Необхідність такого підходу була визначена ще у 2001 р. у доповіді Організації Об'єднаних Націй, присвяченій проблемам науки (особливо з урахуванням розвитку нанотехнологій) та її впливу на розвиток людства [92], а також у доповіді колишнього директора Міжнародного валютного фонду А. Гринспана [93]. У цих доповідях було сформульовано *п'ять принципів*, на яких повинна відбуватися конвергенція технологій:

- 1) науково-технічний прогрес, що прискорюється, надає *можливість для розвитку людства як на індивідуальному, так і на колективному рівнях*. Наприклад, сьогодні наука одержала змогу заміщувати або регенерувати окремі частини тіла людини, а також створювати апарати та інші пристрої, спроможні безпосередньо взаємодіяти з тканинами людського організму і нервової системи;
- 2) злиття (конвергенція) наук виникає з єдності матеріального світу при його розгляді на нанорівні і визначає *об'єднання знань, яке може стати основою не тільки для бурхливого технологічного прогресу, але й для розвитку загальнолюдських цінностей* (включаючи філософію, мистецтво тощо);
- 3) прискорений розвиток і масштаби зміни ключових (базисних – прим. авторів) технологій диктують нагальну потребу *розробки нового підходу, особливо з урахуванням зміни наукових парадигм у чотирьох основних напрямках NBIC*;
- 4) процес конвергенції наук в рамках концепції NBIC є настільки важливим, що *будь-які програми і розробки у цій області повинні ретельно контролюватися з урахуванням можливості небажаних і небезпечних наслідків*;
- 5) *розвиток науки і технологій слід розглядати як основне і головне джерело загального прогресу людства*.

Таким чином, логіка розвитку науки визначає перехід від вузької спеціалізації до міждисциплінарності і створенню в кінцевому результаті *об'єднаної*

науки, яка будується, перш за все, на синергетичному ефекті від взаємопроникнення чотирьох ключових NBIC-наук і технологій. На рис. 1.7 наведено схему вирішення глобальних проблем людства в рамках формування шостого технологічного укладу на основі конвергенції вказаних технологій [90].

<b>Глобальні проблеми і потреби людства</b>	Депопуляція і старіння населення	<b>Конвергенція NBIC-технологій</b>	Біотехнології	Медицина (створення платформ)	<b>Виробництво</b>
	Нестача продовольства			Біоорганічні системи і біотехнології	
	Екологічні проблеми		Нанотехнології	Фізико-хімічні методи досліджень і технології	
	Вичерпання запасів низки видів сировини і палива			Гібридні прилади (створення і тестування)	
	Нова енергетика та енергозбереження		Інформаційні технології	Інженерно-технологічні центри	
	Уповільнення науково-технічного прогресу		Когнітивні науки	Комп'ютерні науки та інформатика	
	Нейронаука і нейротехнології				
			Когнітивні дослідження і технології		

**Рис. 1.7. Схема вирішення глобальних проблем людства на основі конвергенції (синергетичної інтеграції) проривних NBIC-технологій**

У табл. 1.5 наведено співставлення проблем людства та можливостей і загроз, що несуть у собі процеси конвергенції NBIC-технологій [94, с. 32 – 37].

### 1.3. Синергетичний ефект розвитку NBIC-технологій

Нанотехнології фактично знищують різницю між звичайними технологіями і, наприклад, біологічними процесами, створюючи нові напрями і нові межі досліджень і розвитку. Таким чином, у процесах на рівні наномасштабів виявляються об'єднаними або «злитими» ті характеристики і властивості, які на більш високих рівнях вивчення описуються окремо біологією, фізикою, хімією та інформаційними технологіями. Проблема такого злиття наук на нанорівні видається виключно важливою і може мати революційне значення для подальшого розвитку науки взагалі [96, с. 270 – 271].

Таблиця 1.5

**Проблеми людства та можливості і загрози, що несуть у собі процеси конвергенції NBIC-технологій**

№ з/п	Проблеми людства	Можливості, що можуть бути реалізовані у найближчі 20 років	Можливості, що можуть бути реалізовані у більш віддаленому майбутньому	Зміни і загрози від впровадження NBIC-технологій
1	2	3	4	5
1	Депопуляція і старіння населення	1. Цілеспрямоване втручання в генетику людини (та інших видів); 2. Інженерія органів і тканин, створення протезів і штучних органів перевершують за своїми можливостями природні; 3. Ефективна профілактика і лікування практично всіх захворювань; 4. Практичне призупилення старіння	1. Радикальне розширення фізичних та інтелектуальних можливостей людини; 2. Ревіталізація (оживлення, виликування і омолодження) людей, що зберігаються сьогодні у стані глибокого охолодження засобами сучасної кріоніки	1. Більшість людей матимуть змогу покращити себе за допомогою заміни частин тіла на штучні та прямого втручання в генетичний апарат та обмін речовин
2	Нестача продовольства, вичерпання запасів ряду видів сировини і палива, нова енергетика та енергозбереження	–	1. Досягнення глобального матеріального достатку на основі розвинених NBIC-технологій; 2. Освоєння людиною нових середовищ проживання (водного середовища, інших планет, відкритого космосу, віртуального Всесвіту)	Перетворення природи на безпосередню виробничу силу; Ресурси, що доступні людині, стануть практично необмеженими
3	Екологічні проблеми	–	1. Ефективне управління кліматичними змінами і процесами у біосфері, глобальне відновлення природних екосистем	–

Закінчення табл. 1.5

1	2	3	4	5
<p>4</p> <p>Уповільнення науково-технічного прогресу</p>	<p>1. Розширення інтелектуальних можливостей людини за рахунок використання вживлених або таких, що носяться, сенсорних пристроїв, комп'ютерів, додаткової пам'яті, пристроїв зв'язку;</p> <p>2. Поява систем штучного інтелекту, що перевершують людину за своїми можливостями;</p> <p>3. Подальший розвиток інтерфейсу «людина – комп'ютер»;</p> <p>4. Переміщення все більшої частини активності у віртуальні простори;</p> <p>5. Розмивання бар'єрів, що залишилися, між людьми – географічних, державних, мовних</p>	<p>1. Поява систем штучного інтелекту, що перевершує людину за своїми можливостями;</p> <p>2. Перенесення особистості людини на новий фізичний носій (наприклад, на штучну нейронну мережу або в комп'ютер, що має відповідну архітектуру та обчислювальну потужність);</p> <p>3. Тераформінг планет;</p> <p>4. Космічна мегаінженерія;</p> <p>5. Створення біологічного суспільства, що буде максимально комфортним і повністю виключить страждання</p>	<p>1. Трансформується розум людини, в тому числі й етичні системи;</p> <p>2. Постлюдський розум і штучний інтелект вийдуть на рівень надрозуму, який якісно переважає рівень людини;</p> <p>3. Стане питання щодо меж людськості;</p> <p>4. Дії штучного інтелекту можуть далеко виходити за межі розуміння людини;</p> <p>5. Існує загроза виходу з під контролю людини нанороботів, що самовідтворюються</p>	

### 1.3.1. Конвергенція нано- і біотехнологій

Прикладом того, як проблема конвергенції, зокрема *нано- та біотехнологій*, виникала практично з початку розгортання нанодосліджень, може служити розвиток мікроелектронної промисловості в США, яка вже кілька десятиліть була й залишається однією з головних рушійних сил економіки цієї держави. Так, вже у 1988 р., коли було створено перший мікроскопічний двигун розміром біля 100 нм з використанням процесів виробництва МЕМС (мікроелектромеханічних систем), які засновані на методах виготовлення інтегральних схем у мікроелектроніці, стало зрозуміло, що відбувається «розмивання» меж між механікою і електронікою. Подальше зменшення розмірів пристроїв до нанометричних масштабів призвело до «злиття» нанотехнологій з біологічними процесами [97]. Зокрема коли деталі пристроїв стали наближатися до розмірів деяких функціональних макромолекул (типу ДНК або нуклеїнових кислот), виникла можливість створення дивовижних гібридних механізмів: наприклад, нанодвигуна на основі «об'єднання» мітохондріальної АТФази і металевого нанострижня [98].

Тобто на *мікрорівні* різниця між живим і неживим не настільки очевидна, як на макрорівні (коли поєднання, наприклад, людини і механічного протезу призводить до появи істоти змішаної природи – кіборгу). При розгляді живих (біологічних) структур на молекулярному рівні стає очевидною їхня хімічна природа. Наприклад, АТФ-синтаза (комплекс ферментів, який присутній практично у всіх живих клітинах) за принципом своєї побудови і функціям є мініатюрним електромотором. Гібридні системи, які розробляються сьогодні, наприклад, мікроробот зі джутиком бактерії в якості двигуна, не відрізняються принципово від природних (вірусів) або штучних систем. Подібна схожість побудови і функцій природних біологічних і штучних нанооб'єктів призводить до особливо явної конвергенції нанотехнологій і біотехнологій [84, с. 50]. У перспективі нанотехнології призведуть до появи нової галузі – наномедицини (та нанобіології) – комплексу технологій, що дозволяють управляти біологічними процесами на молекулярному рівні.

Взаємодія нано- і біотехнологій є *двосторонньою*. У *табл. 1.6* наведено можливі результати конвергенції нано- і біотехнологій для вирішення проблем людства.

Таблиця 1.6

**Синергетичний ефект від конвергенції нано- і біотехнологій**

№ з/п	Глобальна проблема людства	Вплив нанотехнологій на розвиток біотехнологій	Вплив біотехнологій на розвиток нанотехнологій
1	2	3	4
1	Депопуляція і старіння населення	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Електронна промисловість одержить змогу випускати транзистори основних типів до 10 нм, які можна буде <i>інтегрувати в схеми з біологічними</i> структурами [87];</li> <li>2. Розробка <i>нових методів діагностики і лікування</i> багатьох хронічних і важких захворювань. До 2015 р. будуть створені датчики, які дозволять надійно реєструвати появу в організмі злоякісних утворень на самих ранніх стадіях, що значно підвищить ефективність лікування і помітно знизить смертність від ракових захворювань [87];</li> <li>3. Широке розповсюдження різних <i>нанобіосистем</i>, які стануть основним засобом не тільки для дослідження організму, але й для самого процесу лікування. При розробці нових матеріалів і приладів дослідники будуть приділяти основну увагу збільшенню термінів експлуатації та забезпеченню їх біосумісності з тканинами організму людини [87];</li> <li>4. Один з найбільш значущих напрямів – можливість створення <i>респіроцитів</i> (штучних еритроцитів) та <i>мікробіворів</i> (штучних лейкоцитів) [99];</li> <li>5. Можлива модифікація форми білкової молекули за допомогою механічного впливу (фіксація «наноскобою») [100].</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Біологічні системи надають <i>ряд інструментів для будівництва наноструктур</i>. Наприклад, створені особливі послідовності ДНК, які примушують синтезовану молекулу ДНК згортатися у двомірні і тримірні структури будь-якої конфігурації [101]. Подібні структури можуть бути використані, наприклад, як «ліси» для будівництва наноструктур;</li> <li>2. Існує перспектива <i>синтезу білків</i>, які виконують задані <i>функції з маніпуляції речовиною на нанорівні</i> (що, у свою чергу, потребує вирішення складної проблеми з вивчення принципів згортання білків) [102];</li> <li>3. Створюються умови <i>для позаутробного відтворення людини</i>, коли ембріони можна буде вирощувати у штучних матках – інкубаторах [103];</li> <li>4. <i>Клонування</i> відкриває перспективи для тиражування найбільш вдалих з генетичної точки зору індивідуумів, хоча для клонування людини необхідна розробка більш тонкої технології, ніж існуючі;</li> <li>5. <i>Генна інженерія</i> разом з клонуванням надасть можливість створювати тварин і людей із наперед заданими властивостями, вести планову роботу з покращення видів, підтримуючи при цьому оптимальну чисельність нової популяції.</li> </ol>
2	Нестача продовольства, вичерпання запасів сировини і палива, нова енергетика та енергозбереження	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нанотехнології дадуть змогу вирішити <i>проблеми очищення води, зберігання екологічно чистого палива, збільшення продуктивності ґрунтів</i>;</li> <li>2. Вирішення проблеми <i>бідності</i> [104], актуальність якої зростає з подальшим розвитком роботизації і комп'ютеризації багатьох видів діяльності</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перехід на вирощування <i>генномодифікованих продуктів</i> та подальший розвиток генетики;</li> <li>2. Створення <i>синтетичних продуктів харчування</i>, коли більша частина продуктів буде вироблятися на хімічних фабриках, а не на ланах [105].</li> </ol>

Закінчення табл.1.6.

1	2	3	4
3	Екологічні проблеми	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Швидко зростаючий напрям досліджень з «драгдизайну»: створення ліків за допомогою комп'ютерного конструювання, що на порядки більш ефективно, ніж пошуки будь-яких невідомих компонентів у різних рослинах;</li> <li>2. Вирішення проблеми забруднення води, повітря, суші за допомогою <i>наномембран</i> і приладів на їх основі;</li> <li>3. Створення і використання <i>нанофабрикатору</i> (а в подальшому – <i>нанофабрик</i>, <i>наноасемблерів</i>) спроможні зробити непотрібною існуючі індустрію виробництва товарів і переробку відходів.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вирішення проблеми <i>збереження біорізноманіття Землі</i> за рахунок відтворення ДНК будь-якої істоти, що зникла, методами генної інженерії і клонування [106];</li> <li>2. Створення <i>генетичних кріобанків</i> як для людей [107], так і для тварин [108].</li> </ol>

У майбутньому тривалість життя людини буде зростати за рахунок нових медичних та інших методів. Наприклад, існуючі медичні методики, що використовують стовбурові клітини, дозволяють справляти не тільки омолоджуючу дію, а й в перспективі вирощувати з них цілком нові органи: починаючи від зубів і до серця, печінки, нирок. Вже сьогодні для медичних цілей вирощують січові міхури, суглоби, суди, м'язи тощо [91, с. 126]. Тобто в недалекому майбутньому можна буде очікувати не тільки збільшення тривалості життя, але й більш активну участь старшого покоління у функціонуванні суспільства (перш за все, у розвинених країнах). Це також допоможе знизити необхідність у залученні зовнішніх трудових ресурсів там, де їх потребують.

Таким чином, сьогодні розвиток нанотехнологій передбачає розвиток *двох самостійних напрямів* [90]:

- 1) Створення *нової технологічної культури*, основаної на конструюванні макроматеріалів шляхом спрямованого маніпулювання атомами і молекулами на рівні нанорозмірів. Головне в цьому те, що створюються нові матеріали, необхідні практично для всіх галузей промисловості, тобто мова йде про *формування ринку принципово нової продукції* в рамках існуючого економічного укладу. Нові матеріали з якісно новими, покращеними характеристиками затребувані у всіх сферах – від медицини до будівництва, від інформатики до легкої промисловості тощо. Результатом цього стане *еволюційна зміна технологічного і, як наслідок, соціально-економічного укладу суспільства*;

2) Другий напрямок, характерний вже для постіндустріального суспільства, складається з двох етапів:

**Перший етап:** поєднання можливостей сучасних технологій, у першу чергу, твердотільної мікроелектроніки як найвищого технологічного досягнення сучасності, з досягненнями в галузі пізнання живої природи (нанобіотехнології). Мета цього етапу – створення *гібридних антропоморфних технічних систем біонічного типу* (тобто, вивчення «устрою» і можливостей людини та їх копіювання у вигляді *модельних технічних систем*). Намагання людства з розвитку науково-технічного прогресу – це бажання досягти в технологічних приладах тієї досконалості, яка закладена в кожній людині. Сьогодні унікальні технології мікроелектроніки (наприклад, молекулярно-променева епітаксія, яка використовується для одержання тонких структур порядку розмірів атомів, а також нові структури – структури з квантовими точками, створення і поведінка яких вже підпорядкована принципам самоорганізації) дозволяють, поєднуючи літографію і послідовні суміщення, виробляти інтегральні схеми найвищого порядку складності у будь-якій країні світу. Таким чином, результатом першого етапу стануть *платформи для створення нанобіосенсорів* – принципово нових гібридних систем, що будуть мати змогу відчувати, біонічного типу.

**Другий етап:** *Інтеграція* створених на першому етапі *нанобіосенсорних платформ*. Метою другого етапу стане створення *технологій атомно-молекулярного конструювання і самоорганізації на основі атомів і біоорганічних молекул*. В основі цього етапу лежить зближення і взаємопроникнення «неорганіки» і біоорганічного світу живої природи. Завдяки досягненням фундаментальної науки, що використовує, перш за все, рентгенівську фізику, розсіяння синхротронного випромінювання і нейтронів, ядерно-магнітний резонанс, суперкомп'ютери, стала очевидною структура біологічних об'єктів. Було визначено їх складну тривимірну просторову структуру, вивчено механізми функціонування цих біологічних молекул. Сьогодні людство підійшло до технологічних рішень, в основі яких лежать базові принципи живої природи. Тобто починається новий етап розвитку, коли *від технічного, модельного конструювання «устрою людини» на основі простих неорганічних матеріалів людство буде готовим перейти до відтворення систем живої природи на основі нанобіотехнологій*. Як результат, стає можливим створення **біоробототехнічних систем**.

### 1.3.2. Конвергенція інформаційних технологій з нано- і біотехнологіями

Взаємодія між *інформаційними і нанотехнологіями* носить двосторонній синергетичний, рекурсивно взаємно підсилюючий характер. З одного боку,



## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

інформаційні технології використовуються для симуляції нанопристроїв (як певний щабель для розвитку нанотехнологій). З іншого боку, вже сьогодні йде активне використання (поки ще досить простих) нанотехнологій для створення більш потужних обчислювальних і комунікаційних пристроїв.

Згідно із законом Мура [109], з початку появи мікросхем кожна нова їх модель розробляється через 18 – 24 місяці після появи попередньої моделі, а ємність їх при цьому зростає кожний раз приблизно вдвічі. В процесі розвитку нанотехнологій стає можливим створення за їх допомогою більш досконалих обчислювальних пристроїв, що, в свою чергу, полегшує моделювання нанотехнологічних пристроїв, прискорюючи зростання нанотехнологій. Така синергетична взаємодія, скоріш за все, забезпечить відносно швидкий (за 20 – 30 років) розвиток нанотехнологій до рівня молекулярного виробництва [110].

Саме молекулярні технології є **одним з двох головних очікуваних технологічних досягнень XXI століття**. Поява розвинених нанотехнологій, у свою чергу, призведе до появи комп'ютерів, достатньо потужних для моделювання мозку людини [111]. Всі підходи до подальшого збільшення обчислювальної потужності комп'ютерів, безумовно, пов'язані з мініатюризацією і ущільненням.

У *табл. 1.7* на окремих прикладах наведено взаємовплив нано- та інформаційних технологій, а у *табл. 1.8* – взаємовплив інформаційних та біотехнологій.

Таблиця 1.7

### Взаємовплив нано- та інформаційних технологій

№ з/п	Глобальна проблема людства	Вплив нанотехнологій на розвиток інформаційних технологій	Вплив інформаційних технологій на розвиток нанотехнологій
1	2	3	4
1	Депопуляція і старіння населення	1. Розробка <i>мікро- і нанороботів</i> , що спроможні самостійно навчатись і приймати рішення; 2. В процесі розвитку обчислювальних технологій кількість атомів, необхідна для комп'ютерної симуляції одного атому, істотно скорочується. Це дозволяє розробляти <i>ефективні атомарні моделі</i> об'єктів нанометрового діапазону.	1. Розробка моделей, які роблять реальним зв'язок мозку людини з комп'ютером через мікрочипи; 2. Побудова атомарних моделей вірусів і деяких кліткових структур розміром у декілька мільйонів атомів; 3. Моделювання процесів згортання білків [112].
2	Уповільнення науково-технічного прогресу	1. Нові, більш швидкісні і надійні методи обробки, передавання і зберігання інформації як на основі квантових ефектів (спінтроніка, фотоніка, плазмоніка, квантові обчислення), так і на основі	1. Доведено принципову можливість <i>симуляції складних нанопристроїв</i> – з атомарною точністю, враховуючи теплові і квантові ефекти, симуляція молекулярних пристроїв розміром

Закінчення табл.1.7

1	2	3	4
		<p>нових технологій (самозбирання, моле- троніка (молекулярна електроніка), ак- тивні і пасивні елементи (транзистори, катоди, міжз'єднання) наноелектроні- ки, пристрої для зберігання інформації, а також на основі нанопродуктів (опто- електроніка, органічна оптоелектро- ніка, міжз'єднання);</p> <p>2. Створення наноелектронних пристроїв з атомарним розміром елементів, а також <i>наномеханічних систем</i> – gears and rods (шестерні і вісі), які викорис- товують механічні принципи, схожі з принципами роботи обчислювальних машин, але реалізовані на атомарному рівні [113].</p> <p>3. Розвиток <i>комп'ютерних систем, що проникають</i> (pervasive computing) – використання комп'ютерних пристроїв, які розподілені у просторі і у звичних об'єктах (меблі, одяг, шляхове по- лотно), а не локалізованих у великих комп'ютерах.</p>	<p>до 20 тис. атомів. Найбільш доскона- лою програмою для такого моделюван- ня є Nanoengineer, створена компанією Nanogex за участю Е. Дрекс-лера [114];</p> <p>2. Використання нанотехнологій як сиро- вини для виробництва різних пристроїв і компонентів; матеріалів для обробки напівпровідникових пластин; для ство- рення інструментів і обладнання при виробництві електронних пристроїв і компонентів</p>

Таблиця 1.8

**Взаємовплив інформаційних і біотехнологій**

№ з/п	Глобальна проблема людства	Вплив біотехнологій на розвиток інформаційних технологій	Вплив інформаційних технологій на розвиток біотехнологій
1	2	3	4
1	<p>Депопуляція і старіння на- селення; Уповільнення науково-тех- нічного про- гресу</p>	<p>1. Розробка <i>теорії кліткових автоматів</i>. Вивчення паралелей між клітковими автоматами і ДНК [115];</p> <p>2. Продемонстровано практичну можли- вість хімічних обчислень на ДНК-ком- п'ютерах [116], які володіють високим паралелізмом і можуть вирішувати задачі не менш ефективно, ніж тра- диційні електронні. Вони можуть бути використані як інтерфейси на стику між електронними і біологічними пристроями, а також стати перехідним етапом до наномеханічних і квантових комп'ютерів;</p>	<p>1. Моделювання біологічних систем, розвиток міждисциплінарної науки – <i>обчислювальної біотехнології</i>. Поява нового типу біомедичних експеримен- тів in silico (в комп'ютерній симуляції) на додаток до давно відомих in vivo (в живому), in vitro (у склі). Створені моделі вірусів, моделі внутрішніх клітинних структур (рібосом тощо), що складаються з декількох мільйонів ато- мів [117]. Розпочато міжнародні про- єкти з моделювання бактерії кишкової палиці, моделювання кори головного мозку людини, вивчення роботи білків.</p>

Закінчення табл.1.8

1	2	3	4
		<p>3. Моделювання потребує значної точності, яка можлива тільки при високих обчислювальних потужностях. Для цього необхідно <i>створення і використання суперкомп'ютерів або систем розподілених обчислень</i> (наприклад, Folding&amp;Home у Стенфордському університеті, США), що поєднує 2 млн комп'ютерів і потребує відповідного програмного забезпечення;</p> <p>4. Моделювання складних організмів на молекулярному, клітковому і системному рівнях зробить можливим <i>розробку і тестування ліків на комп'ютерних моделях</i>, вивчення усїєї сукупності процесів обміну речовин, створення штучних організмів з нуля, розробку високоефективних ліків від більшості хвороб і старіння.</p>	<p>В майбутньому стане можливим повне моделювання живих організмів – від генетичного коду до побудови організму, його зростання і розвитку, аж до еволюції популяції;</p> <p>2. Вивчення <i>паралелей між розвитком живого організму і математичними пристроями</i> (наприклад, клітковими автоматами); встановлення загальних характеристик, які мають і живий організм, і кібернетичний пристрій;</p>

Впровадження роботизації у промисловості, а також широке використання комп'ютерних технологій і систем штучного інтелекту вже у середньостроковій перспективі скоротять необхідність у кількості робочих рук і, як наслідок, можуть суттєво змінити імміграційну політику розвинених країн. Сьогодні уряди країн Європи, США та інших країн-технологічних лідерів все більше звертаються до новітніх технологій, щоб закрити свої кордони від небажаних мігрантів. Вже існують проекти розробки біометричних документів для ідентифікації особистості і роботизації охорони державних кордонів [118]. У США розробляються високотехнологічні паркани, датчики руху, інфрачервоні камери і безпілотні повітряні транспортні засоби в проекті віртуальних стін [119]. Євросоюз планує розгорнути 2500 безпілотних автоматичних літальних апаратів (дронів) на своїх зовнішніх кордонах в районі Середземного моря і Балкан [120]. Крім того, одночасно вдосконалюються і методи поліцейського контролю і втручання в особисте життя громадян шляхом аналізу змісту електронної пошти, фіксації координат усіх телефонних дзвінків з мобільних телефонів і усіх платежів, що здійснюються магнітними пластиковими картками.

Вдосконалюються також і технології комп'ютерів і комп'ютерних мереж, що служать в тому числі для обробки даних і які, безперечно, впливають на соціальну структуру суспільства. В той час, як у сучасному суспільстві, з *одного*

боку, ясно видні тенденції до ізоляціонізму і посиленню поліцейського контролю, з іншого боку – мережі електронних комунікацій багатократно підсилюють можливості спілкування людей, і виникають цілі субкультури, які мають глобальну структуру [121].

### 1.3.3. Взаємодія інформаційних і когнітивних технологій

Створення так званого «**сильного**» **штучного інтелекту (ШІ) стане другим очікуваним головним технологічним досягненням ХХІ століття.** В сучасному суспільстві, що постійно ускладнюється і глобалізується, виникає необхідність у все більш складних системах управління. Сучасні машини (літаки, космічні апарати, підводні човни) вміщують вже таку кількість датчиків, що з їх аналізом людина вже не справляється. Тому виникає необхідність створення більш досконалої комп'ютерної «нервової системи» і центрального «мозку», який управляє цими машинами. Враховуючи емпіричний закон Мура складність електронних систем вже у першому десятилітті ХХІ століття порівнюється зі складністю мозку. Програмне забезпечення, яке буде повністю імітувати мислення людини, скоріш за все, з'явиться до 2020 року. В подальшому настане повнофункціональне злиття людського і машинного інтелекту [91].

Так, наприклад, навесні 2007 р. на надпотужному комп'ютері BlueGene команда вчених з IBM Almaden Research Lab і Університету Невади змоделювала і «запустила» в життя комп'ютерну модель половини мозку миші, яка працювала всього у 10 разів повільніше, ніж реальний мозок. Подальша робота в цьому напрямку, за словами керівника проекту, потребує більшої потужності [122]. Крім того, сьогодні йде робота (проект Blue Brain) над створенням повних комп'ютерних моделей окремих неокортексних колонок, що є базовим будівельним матеріалом нової кори головного мозку – *неокортексу* [123].

Така взаємодія між самою першою за часом виникнення (комп'ютерною) і останньою (когнітивною) хвилями науково-технічної революції стане в перспективі найбільш важливою «точкою науково-технологічного зростання. У *табл.1.9* наведено сьгоднішні здобутки і перспективи конвергенції інформаційних і когнітивних технологій.

Серед найбільш відомих сьгоднішніх *глобальних субкультур* користувачів сучасного Інтернету можна виділити такі, як: хакери, файлообмінювачі, блоггери, користувачі відкритого програмного забезпечення.

Таблиця 1.9

## Конвергенція інформаційних і когнітивних технологій

№ з/п	Глобальна проблема людства	Вплив когнітивних наук на розвиток інформаційних технологій	Вплив інформаційних технологій на розвиток когнітивних наук
1	2	3	4
1	Депопуляція і старіння населення; Уповільнення науково-технічного прогресу	<p>1. Інформаційні технології зробили можливим значно більш якісне вивчення мозку. Усі існуючі технології сканування мозку потребують потужних комп'ютерів і спеціалізованих комп'ютерних алгоритмів для реконструкції тривимірної картини процесів, що відбуваються в мозку, із великої множини окремих двовірних знімків та інших процесів;</p> <p>2. Розвиток комп'ютерів робить можливою симуляцію мозку. Вже створені моделі окремих нейронів та складні моделі окремих систем. У перспективі можливе створення повних комп'ютерних симуляцій мозку людини, що означає моделювання розуму, особистості, свідомості та інших якостей людської психіки («аплодінг» (завантаження) – перенесення людського розуму на комп'ютерний носій). Паралельно будуть створені [124] технології віртуальної реальності або точної симуляції фізичного світу;</p> <p>3. Розвиток «нейросіліконових» інтерфейсів (об'єднання нервових клітин і електронних пристроїв в єдину систему) надає широкі можливості для кіборгізації (підключення штучних частин тіла і органів до людини через нервову систему [125], розробки інтерфейсів мозок – комп'ютер (пряме підключення комп'ютерів до мозку, оминаючи звичні сенсорні канали) для забезпечення високоефективного двостороннього зв'язку [126]. Вже сьогодні можливе вживлення мікросхем – суперчипів у зоровий нерв для штучних систем зору, а також у мозок – для забезпечення безтермінальних варіантів спілкування людини</p>	<p>1. Використання комп'ютерів для вивчення мозку;</p> <p>2. Використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для підсилення людського інтелекту. В таких галузях, як пошук і обробка інформації, структурування знань, планування діяльності, організація творчого мислення тощо, спеціально створені комп'ютерні інструменти грають значну роль: вони у все більшому ступені доповнюють природні здібності людини до роботи з інформацією. Вживлені у мозок мікросхеми можна розглядати як наступні шари мозку людини (що розвивається), а штучна кора головного мозку (наприклад, кишеньковий комп'ютер, що носить з собою, або мікрочіпи, що вживлюються) одержали назву екзокортексу – зовнішньої кори головного мозку [91];</p> <p>3. В подальшому (приблизно у 2020 – 2030 рр.) елементи штучного інтелекту будуть інтегруватись у розум людини з використанням прямих інтерфейсів мозок – комп'ютер [130]. Наприклад, мікро- або наномашини можуть існувати всередині черепної коробки, підтримуючи зв'язок живих нейронів мозку зі штучними, що дозволить обходитись без монітору та відеололму. У більш віддаленій перспективі таке розширення можливостей людини може привести (паралельно з розробкою систем «сильного ШІ») до формування надрозуму – підсиленого людського інтелекту [131 – 132];</p>

Закінчення табл.1.9

1	2	3	4
		<p>з комп'ютером. Крім того, створені мікророботи, що мають здібність до виживання за рахунок пошуку джерел енергії у незнайомому середовищі, а також можуть самостійно рухатись в тілі людини, очищуючі організм від ракових клітин, бляшок холестерину, мікробів або стати вибірковою суперзброєю [127].</p> <p>4. Стрімкий прогрес у когнітивній науці досить скоро дозволить «розв'язати загадку розуму», тобто описати і пояснити процеси в мозку людини, відповідальні за вищу нервову діяльність людини [128]. Наступним кроком, ймовірно, буде реалізація даних принципів в системах універсального штучного інтелекту – Artificial intelligence systems (AIS або як його називають «сильного ШІ» або «ШІ людського рівня»), який буде володіти здібностями до самостійного навчання, творчості, роботи з предметними галузями та вільного спілкування з людиною [129].</p>	<p>4. Створення цифрових мереж нового покоління (Internet 2, Super-Internet тощо), в яких зв'язок між вузлами здійснюється через супутник або по оптоволоконним ліням, забезпечить об'єднання домашніх комп'ютерів, професійних суперкомп'ютерів, засобів зв'язку, а також засобів масової інформації в єдину систему глобального інтелекту. Для обробки і відбору потоків інформації, що в мільйони разів перевищують можливості сприйняття людиною, мережа повинна стати синергомережею, що самоорганізується, тобто стати глобальною AIS (GAIS) системою колективного розуму. Перші кроки в цьому напрямку зроблені в новітній концепції Semantic Web розвитку мережі Інтернет, прийнятою Консорціумом всесвітньої павутини у 2007 р.[133]. GAIS буде приймати інформацію від будь-якого користувача і вводити її у свою базу даних тільки у тому випадку, коли ця інформація становить для неї інтерес, що співпадає з суспільним. Кожен зможе вести діалог безпосередньо з GAIS, яка, спілкуючись з людством, буде вибудовувати загальну систему колективних знань</p>

Рух *хакерів* виник на початку 1970-х років ХХ століття в Массачусетському технологічному інституті і одержав значний розвиток на ранніх етапах розвитку електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), а також під час розвитку Інтернет, в основному серед технічно просунутої молоді, що відрізнялась високим інтелектуальним рівнем і спеціалізувалась на вирішенні задач програмування ЕОМ максимально ефективними шляхами (названими ними «хаками»), які потребували глибоких знань комп'ютерної техніки. Сьогодні цей рух перетворився на повноцінну розгалужену культуру, яка включає в себе як деструктивні напрями, так і напрями, що надають перевагу позитивному творенню. Дане середовище характеризують надшвидкісні одержання і переробка інформації, а також постійна потреба існувати серед собі подібних для корегування знань та їх обміну [134].

У 1997 р. з появою програмного забезпечення *Napster* виникла нова субкультура, заснована на ідеї *безконтрольного високошвидкісного обміну інформацією*, якою часто ставали відео- і аудіозаписи, у більшості випадків одержані нелегальними засобами. Популярність даної обмінної мережі стала надзвичайно високою. Компанії, зацікавлені у захисті авторських прав, відреагували із затримкою, але все ж, незважаючи на засоби захисту, що застосовувалися у програмному забезпеченні, вони змогли відслідкувати і пред'явити позови засновникам подібних мереж. У відповідь з'явилася велика кількість сторонніх реалізацій алгоритмів сітьового обміну (наприклад, *Peer-To-Peer (P2P)* – мережа, в якій відсутні виділені сервери, а кожен користувач є як клієнтом, так і сервером одночасно), які дозволили на теперішній час відновити і у багато разів розширити мережу [135]. Діяльність файлообмінних мереж призвела до появи матеріалів (наприклад, фільмів, книг, аудіозаписів) практично у всіх країнах світу у вільному доступі.

Також існує достатня кількість субкультур, які виникли на стику двох середовищ – віртуального і реального. Зокрема, до них відносяться *блоггери* (люди, що ведуть *блог* (веб-сайт), основний зміст якого – записи, зображення чи мультимедіа, що регулярно додаються. Сукупність усіх блогів називають *блогосферою*) [136]. Не дивлячись на те, що засобами комунікації для них є простори глобальної мережі, основою інформації, що поступає, часто є події з реального світу. За короткий період часу існування власники блогів створили повноцінну спілку зі своїми правилами і цінностями, якими стала достовірна та цікаво подана інформація. Висока популярність інформаційних технологій, що лежать в основі блогосфери, обумовлена двома факторами:

- *простотою обміну інформацією*. Так, популярні в мережі сервіси Flickr, YouTube, MySpace і Wikipedia спроможні надати користувачу доступ до фотографій, відео близьких за інтересами людей, а також до енциклопедичних матеріалів з максимальною простотою. І головне – дати не просто можливість одержувати, але й можливість вносити свій вклад у побудову загальної інформаційної сфери з тими ж зручностями, що й одержувати інформацію;
- всі ці технології спрямовані на *організацію суспільного банку знань*. Користувач фактично сплачує за послуги сервісу, віддаючи частину своїх знань або часу, що дозволяє сервісу розвиватися, в той час як від начальних організаторів сервісу вимагається тільки підтримка порядку і вирішення технічних питань.

Прекрасним прикладом середовища, основними якостями якого є відкритість, спільність знань і співробітництво, є рух *OSS (open source software* (англ.) –



відкрите програмне забезпечення, тобто програмне забезпечення (ПЗ) з вихідним кодом, доступ до якого не закритий і загальнодоступний для проглядання і змін. Це дозволяє усім бажаючим використовувати вже створений код для своїх потреб і, можливо, допомогти у розробці відкритої програми) [137]. Рух OSS з'явився разом з виникненням субкультури хакерів і заснований на ідеї спільної роботи над програмними рішеннями (а потім і над іншими областями, починаючи від створення електронних пристроїв і закінчуючи методиками приготування алкогольних напоїв). Цей рух породив платформу, яка дозволяє на сьогоднішній день підтримувати глобальну павутину. Мова йде, в першу чергу, про операційні системи \*nix, \*bsd, а також веб-сервері Apache (термін веб-сервер визначає програмне забезпечення, що працює на сервері і відповідає за надання клієнтам (наприклад, браузерам) доступу до сайтів за запитаннями [138]) і мовами програмування perl, php, python. Незважаючи на постійну конкуренцію з боку груп компаній на чолі з Microsoft (прибічників закритої розробки), сумарний процент серверів, наприклад, російського сегменту Інтернету функціонує більш, ніж на 80% на відкритих операційних системах і більш, ніж на 90% на відкритому веб-сервері Apache [139]. Подібні результати спостерігаються і в інших країнах, в тому числі в Європі і США [140].

Досвід, одержаний членами субкультури, в результаті допоміг створити проекти, що не мають відношення до програмних засобів. Одним з таких проектів стала Wikipedia (розташована за адресою Wikipedia.org) – вільна енциклопедія, яка вже на сьогодні містить у собі більше 5 млн статей, кожна з яких має в собі перехресні посилання на інші статті, посилання на зовнішні матеріали. Основною причиною популярності даної енциклопедії став підхід до збору матеріалу і вільне редагування. Будь-який користувач Інтернету спроможний у будь-який час створити або піддати редагуванню будь-яку сторінку енциклопедії. Незважаючи на велику кількість критики такого підходу, Wikipedia змогла стати одним з найбільш авторитетних і коректних енциклопедичних засобів.

На теперішній час усі вказані субкультури, незважаючи на рівень самоідентифікації учасників цих субкультур, є частиною більш глобальної культури користувачів мережі Інтернет. Питання, чи є ця культура контркультурою з огляду на те, що вона не приймає більшу частину норм немережевого світу, залишається відкритим. Це є наслідком несталих і тих, що знаходяться у постійному русі, зв'язків між віртуальним простором і реальним світом. Сьогодні можна констатувати, що [121, с. 119]:

- 1) відбувається прояв нового середовища існування індивідуумів – «паралельної реальності» (кіберпростору), в якому спроможна існувати людина, і, як наслідок, з огляду на різницю людських інтересів – поява



## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

нових субкультур, які мають у багатьох випадках більш складну структуру, ніж традиційні, внаслідок виникнення пограничних ситуацій при взаємодії зі світом реальним і субкультурами, в ньому представленими, а також внаслідок молодості мережі Інтернет;

- 2) ті, хто раніше не вважав себе учасником неотехнологічних груп, вимушені ставати їх членами із міркувань збільшення конкурентоспроможності;
- 3) субкультури в середовищі глобальної мережі функціонують за тими ж базовими принципами і в рамках таких самих базових визначень, що і в реальному світі, з тією лише різницею, що цінність багатьох предметів і понять змінена з урахуванням простоти копіювання їх у віртуальному середовищі. З іншого боку, ці субкультури знаходять свої цінності, які не мають прямих аналогів у реальному світі. До групи таких «віртуальних цінностей» можна віднести пропускну спроможність ліній або віртуальні предмети.

Таким чином, *штучний інтелект все більше розвивається у бік створення глобальних систем суперінтелекту*, які будуть мати ієрархічну структуру: на нижньому рівні це може бути локальна мережа (що належить сім'ї або організації), наступний рівень може поєднувати вже різних людей за тими чи іншими інтересами, і над усім цим повинен бути ще більш високий рівень, що поєднає усі накопичені знання і коригує рішення, що приймаються тематичними GAIS [91, с. 135].

При цьому, як людина буде використовувати величезні можливості GAIS, так і GAIS буде використовувати її тілесну оболонку. Суспільство вже сьогодні володіє безсмертям, оскільки тривалість його існування нічим не обмежена або, крайньою мірою, набагато вища, ніж тривалість життя окремого індивіду. Деякі вчені вважають, що в майбутньому суспільство все більше буде ставати єдиним організмом *Mega Sapiens* [141 – 145].

### Висновки

1. Метою будь-яких технологічних інновацій було і залишається вирішення *глобальних проблем* і викликів, що стоять перед людством у цілому, а також для кожної країни з урахуванням специфіки їх розвитку. До глобальних проблем, що характеризують матеріальну сферу, перш за все, відносяться: депопуляція і старіння населення; нестача продовольства; екологічні проблеми; вичерпання запасів низки видів сировини і палива; енергетика та енергозбереження; відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу;

2. Науково-технічна та інноваційна політика, а також національні проекти практично будь-якої держави повинні бути *спрямовані, насамперед, на вирішення вказаних глобальних проблем;*

3. Досвід держав, що швидко розвинулись за останні роки, свідчить, що спочатку їм знадобився певний час, щоб наздогнати передові країни. Ці роки були, головним чином, роками *запозичень* на основі придбаних патентів або прав на використання з метою *модернізації* технологічної бази економіки і підвищення продуктивності праці. І тільки на другому етапі країни поступово переходили до фази *інноваційного зростання;*

4. При проведенні будь-якою країною модернізації своєї економіки відбувається запозичення досвіду, який дозволяє робити щось вже відоме ефективніше, ніж зараз. При цьому, *чим вищим є рівень технологічного розвитку, тим менше просте запозичення буде відповідати вирішенню необхідних завдань.* Коли країна, що розвивається, наближається до провідних технологічних лідерів, то для того, щоб освоїти передову технологію, потрібно буде прикласти значно більше зусиль і витратити значні кошти на придбання патенту. Як наслідок, у процесі переходу від модернізації до фази *інноваційного розвитку* країни будуть потребувати *все більш широкого акцентування на власні дослідження і орієнтації на найбільш прогресивні і передові світові досягнення;*

5. Для *розвинених країн* інноваційний шлях розвитку – це, безумовно, єдиний спосіб економічного зростання, але для *країн, що розвиваються,* при їх орієнтації на інноваційний розвиток, постає ряд питань:

- якщо інновації – це ключовий фактор економічного зростання, то *інноваційні країни повинні зростати більш швидко.* Але досвід, наприклад, Британії, показує, що коли в минулому вона була технологічним лідером, вона зростала значно повільніше, ніж Бразилія, США і Канада, які сильно відставали від неї технологічно;
- *інновації повинні генерувати зайнятість.* Але це спірне питання: інколи вони створюють робочі місця, генеруючи нові продукти і попит на них, а інколи – знищують ці місця, замінюючи людську працю інноваційними методами виробництва;
- *впровадження інновацій в країнах, що розвиваються,* – це дуже *витратний спосіб зростання.* Сьогодні у світі є велика кількість прикладів більш дешевших способів зростання, наприклад, адаптація існуючих технологій, скорочення витрат.

6. Вплив *технологічних інновацій* на економічний розвиток суспільства виявляється в тому, що саме вони забезпечують періодичне інноваційне онов-

## 1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

лення усієї сфери виробництва товарів і послуг, матеріально-технічної бази суспільства. Встановлення нової *технологічної парадигми* – це лавиноподібне розповсюдження нових виробництв разом із підвищенням їхньої ефективності в ході чергового довгохвильового підйому;

7. *Технологічні уклади* (технологічними системами виробництва), які домінують в економіці різних країн, визначають їх місце у міжнародному поділі праці і, відповідно, на зовнішніх ринках. Ядро технологічного укладу – сукупність *радикальних (базисних) технологій* – це основа нових галузей промисловості та багатьох прикладних технологій, які використовуються для модернізації існуючого виробництва, а також для випуску дедалі різноманітніших виробів, що дає споживачам можливість широкого вибору аж до індивідуалізації продукту чи послуги. Хвильовий характер виникнення радикальних нововведень впливає на динаміку розвитку промисловості та економіки в цілому. Саме оновлення технологічної бази кожного окремого підприємства викликає зміни в перебудові господарської системи та її організаційної структури, зміни технологічної структури усіх рівнів. Сьогодні у розвинених країнах світу ядро економіки складають галузі п'ятого технологічного укладу – мікроелектроніка, генна інженерія, космічні технології, засоби автоматизації і зв'язку, біотехнології. У країнах, що розвиваються, домінують третій і четвертий технологічні уклади;

8. В рамках п'ятого укладу, як і в попередніх, починають складатися контури *нового шостого укладу*, в якому *ключовим фактором ядра*, на думку провідних фахівців світу, стане конвергенція NBIC-технологій. *Ядро* шостого технологічного укладу сформуєть: наноматеріали, наноелектроніка, нанофотоніка, скануюча нанотехніка, нанометрологія, нанофабрики, наносистемна техніка, генна інженерія, кліткові біотехнології, інформаційно-комунікаційні технології, штучний інтелект. Носійними галузями будуть: авіабудування і ракетно-космічний комплекс; електроніка, електротехніка і приладобудування; інформаційно-комунікаційна галузь; освіта; атомна промисловість; ядерна і термоядерна енергетика; альтернативна і воднева енергетика; суднобудування, автомобілебудування і верстатобудування; хімічно-металургійний комплекс; продовольчий комплекс;

9. Враховуючи наведені вище взаємозв'язки і міждисциплінарний характер сучасної науки в цілому можна передбачити в перспективі злиття NBIC-галузей в *єдину науково-технологічну галузь знання*. Синергетичний ефект від об'єднання цих чотирьох глобальних напрямів науки і технологій виявляється, перш за все, в такому: *нано (N)* – це новий підхід до конструювання матеріалів «на замовлення» шляхом атомно-молекулярного конструювання; *біо (B)* – дозволить ввести у конструювання неорганічних матеріалів біологічну частину

і таким чином одержати гібридні матеріали; *інформаційні технології (I)* – нададуть можливість у такий гібридний матеріал або систему «підсадити» інтегральну схему і, як результат, одержати принципово нову інтелектуальну систему; *когнітивні технології (C)* – засновані на вивченні свідомості, пізнання, розумового процесу, поведінки живих істот і людини в першу чергу, як з нейрофізіологічної і молекулярно-біологічної точок зору, так і за допомогою гуманітарних підходів. Конвергенція цих технологій з іншими (*N, B* та *I*) надасть можливість, ґрунтуючись на вивченні функцій мозку, механізмах свідомості, поведінки живих істот, розробляти алгоритми, які фактично і будуть «одушевляти» створювані ними системи за допомогою надання їм подоби розумових функцій;

**10.** Основними завданнями, пов'язаними з реалізацією концепції NBIC-конвергенції, стануть: розвиток теорії архітектури і методів синтезу тримірних наноструктур, а також матеріалів, пристроїв і систем на цій основі; спрямоване збирання атомарних і молекулярних структур; створення темплатів, матриць і шаблонів для синтезу гетерогенних наноструктур; багатомірний і багатомасштабний дизайн матеріалів і процесів; нові методи створення інтегральних пристроїв; створення стандартних проміжних наномасштабних «будівельних блоків»; вирішення проблем фізичної і хімічної стабільності, наноструктур, що створюються, а також забезпечення надійності їх роботи;

**11.** Розвиток науки і техніки сьогодні надає можливість повернутися до створення *єдиної науково-технічної картини світу*. На основі злиття різних наукових дисциплін та їх синергізму може відбутись бурхливий розвиток нових технологій, який спроможний привести до революційних перетворень в промисловості, економіці, соціальному устрої тощо. Важливість нових технологій і пов'язана з ними зміна парадигм науки потребують особливої уваги до соціальних і етичних проблем, що неминуче виникають при їх плануванні, впровадженні і реалізації;

**12.** Саме конвергенція NBIC-галузей дозволить ефективно, на якісно новому рівні *вирішити глобальні проблеми людства*, складність і важкість наслідків яких постійно зростає. Природа буде перетворена в безпосередню виробничу силу, а ресурси, доступні людині, стануть практично необмеженими.

**13.** Завдяки NBIC-конвергенції з'являється можливість *якісного зростання можливостей людини* за рахунок її технологічної перебудови. У віддаленому майбутньому мова може йти про початок нового етапу еволюції людини. Більша частина людства прийме зміни і покращить себе за допомогою NBIC-технологій, можливо, із заміною частин тіла на штучні і прямим втручанням у генетичний апарат і обмін речовин;

14. Відбудеться *трансформація розуму людини*, враховуючи етичні системи. Вдосконалений людський розум і штучний інтелект розвинуться до рівня створення *надрозуму*, що якісно переважає рівень людини. Постає питання про межі людяності, тобто про визначення переходу до постлюдини.

## Література

1. Кизим Н. А. Инновационное развитие Украины: проблемы и пути решения/ Конкурентоспроможність і інновації: проблеми науки та практики. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 22–23 листопада 2011р. – Х.: ФОП Павленко О. Г., ВД «ІНЖЕК», 2011. – С.15 – 20.
2. Лавриненко І., Крюкова С. Нанопрогресс и нанопурга / Эксперт, № 50, 28.12.10. – С. 20 – 22.
3. Кизим Н. А., Матюшенко И. Ю. Перспективные направления финансирования научно-технической и инновационной деятельности / Налогообложение: проблемы науки и практики – 2007: Монография. – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2007. – С. 116 – 143.
4. Основи сталого розвитку Харківської області до 2020 року: Монографія / М. О. Кизим, В. С. Пономаренко та інш. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2010. – 512 с.
5. Матюшенко І. Ю. Проблема визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в рамках пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / Науковий журнал «Проблеми економіки». – 2011. – №2. – С.14 –25.
6. Пустовалов В. К. Развитие нанотехнологий – один из возможных путей выхода из мирового экономического кризиса / Проблемы и перспективы инновационного развития экономики в контексте преодоления мирового финансового кризиса. Материалы XIV международной научно-практической конференции по инновационной деятельности, Киев – Симферополь – Алушта, 2009. – С. 261 – 264.
7. Декларация тысячелетия Организации Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.un.org/russian/document/ declarat/summitdecl.htm](http://www.un.org/russian/document/declarat/summitdecl.htm)
8. Кизим М. О., Проноза П. В., Омаров Ш. А. Проблеми та цілі розвитку України у світі глобальних проблем світової спільноти: Монографія. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2010. – 96 с.
9. Новая постиндустриальная волна на Западе. Антология / Под ред. В. Л. Иноземцева. – М.: Academia, 1999. – 640 с.

10. Уэбстер Ф. Теории информационного общества / Ф. Уэбстер; Пер. с англ. М. В. Арапова, Н. В. Малыхиной; Под ред. Е. А. Вартановой. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 400 с.
11. Иноземцев В. Л. За пределами экономического общества. – М.: Academia – Наука, 1998. – 640 с.
12. Иноземцев В. Л. Пределы «догоняющего» развития: Научное издание. – М.: Экономика, 2000. – 295 с.
13. Иноземцев В. Л. Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы: Учебное пособие. – М.: Логос, 2000.
14. Иноземцев В. Л. Моделі постіндустріального розвитку // Економіка знань: виклики глобалізації та Україна / Під заг. ред. А. П. Гальчинського, С. В. Львовичкіна, В. П. Семиноженка. – К.: ХФ НІСД, 2004. – С.105 – 160.
15. Иноземцев В. Л. Движущие силы инноваций: иллюзии и реальность // Динамика инноваций / Под ред. В. И. Супруна. – Н.: ФСПИ «Тренды». – С.143 – 157.
16. Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. – Г.: Владар, 1993. – 456 с.
17. Глазьев С. Ю. Геноцид. – М.: ТЕРРА, 1998. – 320 с.
18. Обучение рынка / Под. ред. С. Ю. Глазьева. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 639 с.
19. Глазьев С. Ю. Состояние экономической науки и инновационные процессы в России и в мире // Динамика инноваций / Под ред. В. И. Супруна. – Н.: ФСПИ «Тренды». – С.75 – 101.
20. Яковец Ю. В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. – М.: Наука, 1999. – 448 с.
21. Яковец Ю. В. Ускорение научно-технического прогресса: теория и экономический механизм. – М.: Экономика, 1988. – 334 с.
22. Яковец Ю. В. Глобализация и взаимодействие цивилизаций: Науч. изд. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Экономика, 2003. – 412 с.
23. Яковец Ю. В. Эпохальные инновации XXI века / Ю. В. Яковец, Междунар. ин-т П. Сорокина – Н. Кондратьева. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 444 с.
24. Яковец Ю. В. Глобальные экономические трансформации XXI века. – М.: Экономика, 2011. – 382 с.
25. Кузык Б.Н. Россия – 2050: стратегия инновационного прорыва / Б. Н. Кузык, Ю. В. Яковец. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2005. – 624 с.



26. Кузык Б. Н. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование: Учебник / Б. Н. Кузык, В. И. Кушлин, Ю. В. Яковец. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2008. – 575 с.

27. Бузгалин А., Колганов А. Социалистические революции XXI века // Свободная мысль, 1997. - № 10. – С.73.

28. Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / Под. ред. Б. З. Мильнера. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 624 с.

29. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. – М.: Экономика, 1989. – 288 с.

30. Полтерович В. М. Стратегия модернизации российской экономики: система интерактивного управления ростом // Динамика инноваций / Под ред. В. И. Супруна. – Н.: ФСПИ «Тренды». – С.38 – 74.

31. Иванов В. В. Постиндустриальное общество и феномен конкуренции // Динамика инноваций / Под ред. В. И. Супруна. – Н.: ФСПИ «Тренды». – С. 209 – 220.

32. Стратегический глобальный прогноз 2030. Расширенный вариант / под ред. акад. А. А. Дынкина / ИМЭМО РАН. – М.: Магистр, 2011. – 480 с.

33. Кушлин В. И. Траектории экономических трансформаций / В. И. Кушлин. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 310 с.

34. Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку / За ред. В. Гейця. – К.: Ін-т екон. прогнозування, Фенікс, 2003. – 1008 с.

35. Геець В. М. Про характер перехідних процесів до економіки знань // Економіка знань: виклики глобалізації та Україна / Під заг. ред. А. П. Гальчинського, С. В. Львовичкіна, В. П. Семиноженка. – Х.: ХФ НІСД, 2004. – С.40 – 80.

36. Україна у вимірі економіки знань / За ред. акад. НАН України В. М. Гейця. – К.: «Основа», 2006. – 592 с.

37. Стратегічні виклики XXI століття суспільству та економіці України: Т.1: Економіка знань – модернізаційний проект України / За ред. акад. НАН України В. М. Гейця, акад. НАН України В. П. Семиноженка, чл. – кор. НАН України Б. Є. Кваснюка. – К.: Фенікс, 2007.– 544 с.

38. Семиноженко В. П. Україна: шлях до постіндустриальної цивілізації. – Х.: Константа, 2005.

39. Геець В. М., Семиноженко В. П. Інноваційні перспективи України. – Х.: Константа, 2006. – 272 с.

40. Семиноженко В. П. Інноваційна політика України як національний проект // Економіка знань: виклики глобалізації та Україна / Під заг. ред. А. П. Гальчинського, С. В. Львовчкіна, В. П. Семиноженка. – Х.: ХФ НІСД, 2004. – С.18 – 39.
41. Гальчинський А.С., Львовчкін С. В. Становлення інвестиційної моделі економічного зростання України // Економіка знань: виклики глобалізації та Україна / Під заг. ред. А. П. Гальчинського, С. В. Львовчкіна, В. П. Семиноженка. – Х.: ХФ НІСД, 2004. – С. 4 – 17.
42. Чухно А. А. Постіндустріальна економіка: теорія, практика и их значение для Украины // Экономика Украины. – 2002. – № 2. – С. 49 – 54.
43. Чухно А. А. Твори: у 3 т. / Т. 2: Інформаційна постіндустріальна економіка: теорія і практика / НАН України, Київ. нац. ун-т ім. Т. Г. Шевченка, Наук.-дослід. фін. ін-т при М-ві фін. України. – К., 2006. – 512 с.
44. Філіпенко А. С. Економічний розвиток сучасної цивілізації: Навч. посіб. – 3-є вид., перероб. і допов. – К.: Знання України, 2006. – 316 с.
45. Інноваційний розвиток економіки: модель, система управління, державна політика / За ред. проф. Л. І. Федулової. – К.: «Основа», 2005. – 552 с.
46. Федулова Л. І. Технологічний розвиток економіки України. – К.: Ін-т економіки та прогнозування, 2006. – 627 с.
47. Згуровський М. Путь к информационному обществу: от Женевы до Туниса // Зеркало недели, 03.09.2005, № 34. – С.16.
48. Згуровський М. Путь к обществу, построенному на знаниях // Зеркало недели, 21.01.2006, №2. – С. 14.
49. Соловьев В. П. Инновационная деятельность как системный процесс в конкурентной экономике (Синергетические эффекты инноваций). – К.: Феникс, 2004. – С. 241 – 308.
50. Соловьев В. П. Новые возможности и новые проблемы инновационного развития экономики / Инновации, 2011. – № 9. – С. 90 – 97.
51. Малицький Б. А., Попович О. С., Соловйов В. П. та ін. Обґрунтування інноваційної моделі структурної перебудови економіки України. Наукове видання. – К.: НАН України. Центр досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г. М. Доброва, 2005.
52. Мельник Л. Г. Информационная экономика. – Сумы: ИТД «Университетская книга», 2003. – 288 с.
53. Проблеми та пріоритети формування інноваційної моделі розвитку економіки України / Я. А. Жаліло, С. І. Архієреєв, Я. Б. Базілюк та ін. – К.: НІСД, 2006.



54. Цихан Т. В. О концепции технологических укладов и приоритетах инновационного развития Украины / Интернет-журнал «Інновації в Києві». – 2005. – №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://innovation.com.ua/pub/imagazine/archive/1\\_05/article8.php](http://innovation.com.ua/pub/imagazine/archive/1_05/article8.php)

55. Близнюк Т. П. Вплив циклічності розвитку економіки на інноваційну діяльність підприємства: Монографія. – Х.: ФОП Александра К. М., 2008. – 352 с.

56. Інновації: проблеми науки та практики 2010: Монографія / Під ред. В. С. Пономаренка, М. О. Кизима, О. М. Ястремської. – Х.: ФОП Павленко О. Г., ВД «ІНЖЕК», 2010. – 304 с.

57. Управління інноваційною діяльністю: Монографія / Під ред. О. М. Ястремської, Г. В. Верещагіної. – Х.: ФОП Павленко О. Г., ВД «ІНЖЕК», 2010. – 404 с.

58. Антонюк Л. А., Поручник А. М., Савчук В. С. Інновації: теорія, механізм розробки та комерціалізації: Монографія. – К.: КНЕУ, 2003. – 394 с.

59. Йохна М. А., Стадник В. В. Економіка і організація інноваційної діяльності: Навчальний посібник. – К.: Видавничий центр «Академія», 2005. – 400 с.

60. Економіка й організація інноваційної діяльності: Підручник / Під ред. О. І. Волкова, М. П. Денисенка. – К.: ВД «Професіонал», 2004. – 960 с.

61. Мазур А. А, Гагауз И. Б. Современные инновационные структуры: Монография. – Х.: СПД Либуркина Л. М., 2005. – 348 с.

62. Никифоров А. Є. Інноваційна діяльність: теорія і практика державного управління: Монографія / А. Є. Никифоров. – К.: КНЕУ, 2010. – 420 с.

63. Саліхова О. Б. Високі технології: дефініція та оцінка: Монографія / О. Б. Саліхова. – К.: ДП «Інформ.-аналіт. агентство», 2008. – 290 с.

64. Бубенко П. Т. Регіональні аспекти інноваційного розвитку: Монографія. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 316 с.

65. Національні моделі економічних систем: навч. посіб. / О. О. Беляєв, А. С. Бебело, В. І. Кириленко, В. І. Сазик та ін. – К.: КНЕУ, 2010. – 319 с.

66. Антоненко Л. А. Общее и особенное в национальных моделях экономической трансформации / Л. А. Антоненко, С. Н. Нескородев, К. А. Оприцова // Экономическая теория на пороге XXI века. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. Ю. М. Осипова, В. В. Чекмарева, Е. С. Зотовой. – М.: Юрист, 2002. – С. 455 – 461.

67. Leapfrogging Technology cost-effective solution for pollution in developing countries? Public policy for the private sector, Note 254, February 2003, The World

Bank. Private Sector and Infrastructure Network. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://rru.worldbank.org/Documents/PublicPolicyJournal/254Kojim-022103.pdf>

68. Онлайн-репортаж з Гайдарівського форуму – 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://slon.ru/live/561823>

69. Кондратьев Н. Д. Проблемы экономической динамики / Отв. ред. Л. И. Абалкин. – М.: Экономика, 1989. – 526 с.

70. Кондратьев Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения // Избранные труды. – М.: Экономика, 2002. – 768 с.

71. Шумпетер Й. Теория экономического развития. – М.: Прогресс, 1982. – 456 с.

72. Шумпетер Й. История экономического анализа: В 3 т. / Пер. с англ. под ред. В. С. Автономова. – М.: Оригинал, 2001. – 494 с.

73. Freeman C., Clark J., Soete L. Unemployment and Technical Innovation: A Study of Law. L., 1982. – P.15 – 20.

74. Иванова Н. И. Национальные инновационные системы / Н. И. Иванова. – М.: Наука, 2002. – С.22 – 25.

75. Инновационная экономика / А. А. Дынкин, Н. И. Иванова, М. В. Грачев и др. – М.: Наука, 2004. – 352 с.

76. Теоретические основы и модели долгосрочного макроэкономического прогнозирования / Под ред. Ю. В. Яковца. – М.: МФК, 2004. – 296 с.

77. Проблемы информационной экономики. Вып. V. Национальная инновационная система России: проблемы становления и развития: Сб. науч. трудов / Под ред. Р. М. Нижегородцева. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 424 с.

78. Голиченко О. Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития / О. Г. Голиченко; Отделение общественных наук РАН, Российский науч.-исслед. ин-т экономики, политики и права в науч.-технич. сфере. – М.: Наука, 2006. – 396 с.

79. Воронина Л. А., Ратнер С. В. Научно-инновационные сети в России: опыт, проблемы, перспективы. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 254 с.

80. Кудров В. М. Международные экономические сопоставления и проблемы инновационного развития / В. М. Кудров. – М.: Юстицинформ, 2011. – 616 с.

81. Матюшенко И. Ю. Направления развития высокотехнологических укладов и создания экономики знаний в Украине / Научный журнал «Культура народов Причерноморья». – Симферополь, 2006. – № 80. – С. 98 – 103.

82. Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку науки в Україні в умовах подолання багатоступовості економіки і створення суспільства, побудованого на знаннях / Научний інформаційний журнал. «Бізнес Інформ», ІД «ІНЖЕК», 2006. – № 1-2. – С. 9 – 21.

83. Кизим М. О., Матюшенко І. Ю., Моїсеєнко Ю. М., Бунтов І. Ю. Конвергенція НВІС-технологій як ключовий фактор становлення шостого технологічного укладу / Конкуренентоспроможність: проблеми науки та практики 2011: Монографія. – Х.: ФОП Павленко О. Г., ВД «ІНЖЕК», 2010. – 26 с.

84. Медведев Д. А. Конвергенция технологий – новая детерминанта развития общества // Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего / Отв. Ред. Валерия Прайд, А. В. Коротаев. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 47 – 84.

85. Roco M. C., Bainbridge W.S. (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance*. NSF-DOC Report / Boston: Cluwer Academic Publisher, 2004.

86. Roco M. C., Bainbridge W. S. (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science* / Arlington: Cluwer Academic Publisher, 2004.

87. Роко М. К. Конвергенция и интеграция / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

88. Freitas R. *Economic Impact of the Personal Nanofactory* / *Nanotechnology Perceptions: A Review of Ultraprecision Engineering and Nanotechnology 2*, 2006: P. 111 – 126.

89. Borner K. *Mapping the Structure and Evolution of Science* / *Knowledge in Service to Health: Leveraging Knowledge for Modern Science Management*, 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://grants.nih.gov/grants/km/oerrm/oer\\_km\\_events/borner.pdf](http://grants.nih.gov/grants/km/oerrm/oer_km_events/borner.pdf).

90. Ковальчук М.В. Конвергенция наук и технологий – прорыв в будущее / *Российские нанотехнологии*. Т.6, № 1-2, 2011; [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.portalnano.ru/read/iInfrastructure/russia/nns/kiae/convergence\\_kovalchuk](http://www.portalnano.ru/read/iInfrastructure/russia/nns/kiae/convergence_kovalchuk).

91. Косарев В. В., Прайд В. Влияние высоких технологий на ход глобализации: надежды и опасения // *Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего* / Отв. Ред. Валерия Прайд, А. В. Коротаев. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С.123 – 148.

92. United Nations Development Programme. 2001. *Human Development Report*: New York: Oxford University Press.

93. Greenspan A. Public statement of the Joint Economic Committee of the U.S. Federal Reserve, June 14, 1999, Washington, DC.

94. Артюхов И. В. Трансгуманизм: философские истоки и история возникновения // Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего / Отв. Ред. Валерия Прайд, А. В. Кортаев. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 31 – 45.

95. Матюшенко І. Ю., Бунтов І. А. Перспективи конвергенції NBIC – технологій для створення технологічної платформи нової економіки / Научный информационный журнал «Бизнес Информ» – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2012. – №2. – 12 с.

96. Чин Мин Хо, Дин Хо, Дан Гарсия. Слияние био-нано-информационных технологий / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

97. Fan L. S., Tai Y. C., Muller R. S. IC-processed Electrostatic Micromotors // Technical Digest, IEDM (1988b): 666.

98. Soong R. K., Bachand G.D. Powering of an Inorganic Nanodevice with a Biomolecular Motor // Science 290 (2000): 1555.

99. Freitas R. Exploratory Design in Medical Nanotechnology: A Mechanical Artificial Red Cell, Artificial Cells, Blood Substitutes and Immobilization // Biotechnology. 26, 1998: 411 – 430. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rfreitas.com/>.

100. Choi B., Zocchi G. Mimicking cAMP-Dependent Allosteric Control of Protein Kinase A through Mechanical Tension // Journal of the American Chemical Society 128 (26), 2006: 8541 – 8548.

101. Casci T. Technology: Complexity on the Nanoscale // Nature Reviews Genetics 7 (5), 2006: 332.

102. Twyman R. M. Principles of Proteomics // New York: BIOS Scientific Publishers (2004).

103. Reynolds G. Artificial Wombs // Popular Science. – August, 2005. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.popsci.com/popsci/futurebody/dc8d9371b1d75010vgnvcm1000004eecbccdrclr.html>

104. Bruns B. Applying Nanotechnology to the Challenges of Global Poverty // 1st Conference on Advanced Nanotechnology: Research, Applications, and Policy. 2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.foresight.org/Conferences/AdvNano2004/Abstracts/Bruns/index.html>

105. Тураев В. А. Глобальные проблемы современности. – М.: Логос, 2001.

106. Dasey D. Researchers revive plan to clone the Tassie tiger // The Sun Herald, 2005. – May, 15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.smh.com.au/news/Science/Clone-again/2005/05/14/1116024405941.html>.

107. Toland P. China Plans «Largest Gene Bank» // BBC News, 2007. – October, 18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/7046586.stm>.

108. Woodford M.H. Cryogenic Preservation of Wild Animal Germplasm // Animal genetic resources. A global program for sustainable development, Rome: FAO. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fao.org/docrep/009/t0284e/t0884e00.html>.

109. Moore G. Cramming More Components Onto Integrated Circuits // Electronics, 1965. – 38 (8): 114 – 117.

110. Медведев Д. А., Попов А. А. Молекулярные машины Эрика Дрекслера // Философские науки, 2008. – № 1. – С. 117 – 125.

111. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е издание. – М.: Вильямс, 2006.

112. David C. Y. Introduction to Protein Folding – The Process and Factors Involved // Protein Design, 1998. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.Proteindesign.com/Sections-index-reqviewarticle-atrid-1-page-1.html>.

113. Drexler E., Peterson C. Chapter 3: Bottom-Up Technology. Unbounding the Future – The Nanotechnology Revolution. - NY: William Morrow 1991.

114. <http://www.nanorex.com>.

115. Sirakoulis G. et al. A cellular automation model for the study of DNA sequence evolution // Computers in Biology and Medicine, 2003. – 33 (5): 439 – 453.

116. Letters N., Macdonald J. et al. Medium Scale Integration of Molecular Logic Gates in an Automation // Nano Letters, 2006. – 6 (11): 2598 – 2603. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/nalefd/2006/6/i11/abs/n10620684.html>.

117. Sanbonmatsu K.Y., Simpson J., Chang-Shung T. Simulating Movement of tRNA Into the Ribosome During Decoding // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2005. – 102 (44): 15854 – 15859. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pnas.org/cgi/content/full/102/44/15854>.

118. Future Wikia authors. Borders // Future Wikia, 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://future.wikia.com/wiki/Borders>.

119. Barclay E. Virtual Wall Rises in U.S. Desert // Wired, 2006. – May 16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.wired.com/news/politics/0,70907-0.html?tw=rss.index>.

120. Границы Евросоюза будут защищать роботы / Взгляд, 05.06.2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vz.ru/news/2006/6/5/36271.html>.

121. Сычев М. Б. Неотехнологические субкультуры в современном мире // Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего / Отв. Ред. Валерия Прайд, А. В. Коротаев. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 112 – 121.

122. Frye J., Ananthanarayanan R., Modha D. Towards Real Time, Mouse Scale Cortical Simulations // IBM Research Report, 2007. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.modha.org/papers/rj10404.pdf>.

123. Markram H. The Blue Brain Project // Nature Neuroscience Review, 2006. – 7 (2): 153 – 160.

125. Kurzweil R. The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology. – New York: Viking, 2006.

126. Harris F. Thought-Powered Bionic Arm Is a Touch of Genius // Telegraph. Co.Uk, 2006. – September 16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.telegraph.co.uk/news/main.jhtml?xml=/news/2006/09/15/wbionic15.xml>

127. Hochberg L. R. et al. Neuronal Ensemble Control of Prosthetic Devices by a Human with Tetraplegia // Nature, 2006. – 442: 164 – 171.

128. Хассалакер Б., Тилден М. Живые машины / Природа, 1995. – №4. – С.18 – 25.

129. Robinett W. The Consequences of Fully Understanding the Brain // Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science. – Arlington: Kluwer Academic Publisher.

130. Anissimov M. Accelerating Future. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.acceleratingfuture.com/michael/>.

131. Wolpav J. R. et al. Brain-Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting // IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2000. – 8 (2): 164 – 173.

132. Bostrom N. How Long Before Superintelligence? // International Journal of Future Studies? 1998. – 2.

133. Vinge V. The Technological Singularity // Presented at VISION-21 Symposium, 1993. – March 30-31.

134. Semantic Web. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2008, page version ID: 169934755, date of last revision: 7 November 2007 19:44 UTC. [Электронный ре-

1. Становлення шостого технологічного укладу – шлях до вирішення глобальних ...

сурс]. – Режим доступу: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic\\_Web &oidid=169934755](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Semantic_Web&oidid=169934755).

135. Wark M. A Hacker Manifesto // Cambridge, MA: Harvard University Press, 2004.

136. Steinmetz R., Wehrle K. (eds). Peer-to-Peer Systems and Applications // Lecture Notes in Computer Science, 2005. – 3485, September.

137. Wei C. Formation of Norms in a Blog Community // Into the Blogosphere: Rhetoric, Community and Culture of Weblogs. University of Minnesota. 2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://blog.lib.umn.edu/blogosphere/formation\\_of\\_norms.html](http://blog.lib.umn.edu/blogosphere/formation_of_norms.html)

138. Bretthauer D. Open Source Software: A History // Information Technology and Libraries, 2002/ – (21:1) 3 – 11.

139. World Wide Web Consortium // World Wide Web Server Software, 2002. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.w3.org/Servers.html>.

140. Netstat. 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.netstat.ru>.

141. Netcraft Ltd. 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.netcraft.com>.

142. Икеин Р. Nano Sapiens или молчание небес. – М.: Бератех, 2005.

143. Зиновьев А.А. Глобальный человек. – М.: Центрполиграф, 1997.

144. Васильева Н.А. Цивилизация киборгов: миф или реальность? / Нева, 1996. – № 9. – С.180 – 189.

145. Вербер Б. Муравьиное братство / Наше время, 1999. – № 31 (390).

146. Матюшенко І. Ю., Бунтов І. А. Синергетичний ефект розвитку NBIC – технологій для вирішення глобальних проблем людства / Науковий журнал «Проблеми економіки». – 2011. – №4. – 24 с.



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

### 2.1. Передумови виникнення і класифікація нанотехнологій

Хронологія подій у сфері розробки нанотехнологій говорить про їх «вибуховий» розвиток і прояв ефекту «доміно» практично у всіх галузях науки і техніки. У міру досягнення основних властивостей наносвіту та відкриття нових нанотехнологій вчені й інженери знаходять нові сфери їхнього застосування. Так, якщо в 1960-ті роки вчені пророкували прихід ери нанотехнологій через 300 – 500 років, то за сьогоднішніми оцінками цей період наступить уже всього через 50 років, тобто за життя одного покоління. Основні винаходи й відкриття в сфері нанотехнологій у провідних країнах світу були зроблені: [1, с. 94 – 97; 2, с. 48 – 50; 3, с. 35]:

- 1902 р. – для вулканізації були використані малі частинки (розміром у декілька нанометрів) сажі з надзвичайно розвиненою поверхнею. Фактично вперше промисловість використала переваги нанотехнологій;
- 1905 р. – Альберт Ейнштейн друкує статтю, у якій оцінює діаметр молекули цукру приблизно в 1 нанометр;
- 1931 р. – Макс Нол і Ернст Руска розробили електронний мікроскоп, який дозволяв одержати субнанометрові зображення;
- 1939 р. – компанія Siemens, у якій працював Ернст Руска, випустила перший комерційний електронний мікроскоп із спроможністю до розрізнення до 10 нм;
- 1945 р. – Ервін Мюллер винайшов польовий іонний мікроскоп, який дозволив йому вперше побачити окремі атоми;
- 1959 р. – Річард Фейнман читає знамениту лекцію «Унизу повно місця» про перспективи мініатюризації та відмічає можливість використання атомів як будівельних елементів для створення нових матеріалів і пристроїв. Цей рік вважається роком народження нанотехнологій;
- 1966 р. – Рассел Янг, який працював у Національному бюро стандартів США, винайшов п'єзодвигун, який сьогодні використовується у сканувальних тунельних мікроскопах, а також для позиціонування наноінструментів з точністю до 0,01 ангстрем (1 нм = 10 ангстрем);



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

- 1968 р. – Альфред Чо и Джон Артур із співробітниками з лабораторій Bell винайшли молекулярно-променеву епітаксію – технологію, що дозволяє осаджувати на поверхні моноатомні шари, тобто довели можливість використання нанотехнологій у вирішенні завдань обробки поверхонь і досягнення атомарної точності при створенні електронних пристроїв;
- 1974 р. – Норіо Танігучи запропонував використовувати термін «*нанотехнологія*» для визначення обробки матеріалів з точністю менше мікрона. Танігучи на конференції японського товариства точного машинобудування звернув увагу на необхідність застосування принципово нових технологічних прийомів і відповідного метрологічного забезпечення в процесі переходу, що мав відбутися, до обробки матеріалів з ультрависокою точністю;
- 1975 р. – Платон Костюк, Олег Кришталь, Володимир Підоплічко з Інституту фізіології НАН України вперше виміряли електрострум, що проходить через мембрану нервової клітини. Невдовзі німецькі дослідники вдосконалили метод і виміряли, як через іонний канал проходять окремі іони;
- 1981 р. – Герд Біннінг і Генріх Рорер створюють сканувальний тунельний мікроскоп для маніпуляцій з окремими атомами. Це стало переломним моментом у розвитку нанотехнологій, оскільки цей прилад надавав можливість впливати на речовину на атомарному рівні;
- 1981 р. – Г. Глейтером було внесено термін «*наноматеріали*», які вперше були одержані ним з аморфних плівок як перший консолідований нанокристалевий матеріал;
- 1985 р. – Роберт Карл – молодший, Гарольд Крото і Річард Смолі відкрили *фулерени* – молекули, які мають діаметр біля 1 нм і складаються з атомів вуглецю, що розташовані у вигляді сфери;
- 1986 р. – Ерік Дрекслер видав футуристичну книгу «Двигуни творення», яка популяризувала нанотехнології;
- 1986 р. – створено атомно-силовий мікроскоп, який дозволяє на відміну від тунельного мікроскопу здійснити взаємодію з будь-якими матеріалами, а не тільки с провідниками. За допомогою цього мікроскопу стало можливим «підчепити» атом і розташувати його у потрібному місці, тобто *маніпулювати атомами*, і як наслідок, безпосередньо збирати з них будь-який предмет, будь-яку речовину;
- 1987 – 1988 рр. – в НДІ «Дельта» під керівництвом П. Н. Лускіновича була створена перша російська нанотехнологічна установка, яка здій-

- снювала спрямований вихід шляхом термічної десорбції частинок з вістря зонду мікроскопу під впливом нагріву;
- 1989 р. – Дональд Ейглер з ІВМ пише аббревіатуру своєї компанії окремими атомами ксенону;
  - 1990 р. – на практиці здійснена маніпуляція окремими атомами;
  - 1991 р. – Сумію Айдзіма (Японія) відкриває вуглецеві нанотрубки діаметром 0,8 нм;
  - 1991 р. – Ерік Дрекслер намалював картину недалекого майбутнього у книзі «Необмежене майбутнє. Нанотехнологічна революція»;
  - 1993 р. – Ворен Робінет з Університету Північної Кароліни і Стенлі Уільямс з Університету Кароліни в Лос-Анжелесі розробляють систему віртуальної реальності, пов'язаної з сканувальним тунельним мікроскопом. Вона дозволяє бачити і торкатись атомів;
  - 1994 р. – початок застосування нанотехнологічних методів у промисловості;
  - 1998 р. – група Циса Деккера з Дельфтського технологічного університету в Нідерландах створює транзистор на основі вуглецевих нанотрубок, використовуючи їх як молекули. Для цього вперше у світі було виміряно електропровідність такої нанотрубки;
  - 1998 р. – Річард Смаглії продемонстрував одностінні нанотрубки діаметром 1 нанометр і довжиною від 100 до 300 нм, які можуть бути використані для надточних хімічних проб;
  - 1998 р. – володарі Фейманівського призу у галузі нанотехнології за 1997 р. описали свою конструкцію пропелерообразної молекули, яка може обертатись на мідній поверхні;
  - 1999 р. – Джеймс Тур (Університет Райса (США)) і Майк Рід з Єльського університету (США) показують, що одиничні молекули можуть працювати як молекулярні перемикачі. Були розроблені єдині принципи маніпуляції як однією молекулою, так і їх ланцюжком;
  - 1999 р. – група дослідників під керівництвом Неда Сімана створила і випробувала першу машину з ДНК. Машина була сконструйована з двох спіралей ДНК, скріплених ДНК-«мостом». Цей успіх є основою створення з ДНК-робота;
  - 1999 р. – дослідницька група Чикагського Норвестернського університету створила метод, названий «дипспинною літографією», яка дозволяє креслити лінії шириною у декілька атомів на поверхні золота;

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

- 2000 р. – Зіглер та інші дослідники розробляють квантовий міраж. Розміщення магнітного атому в одному фокусі еліптичного кільця атомів створює міраж того ж атому в іншому фокусі. Можливо, це метод безпроволочної передачі інформації;
- 2000 р. – група американських дослідників під керівництвом Джордана Поллака створила робот, який практично без сторонньої допомоги проектує і відтворює собі подібних (хоч і у спрощеному варіанті);
- 2000 р. – Роберт Мергле запропонував технологію нанотомографії – створення трьохвимірної картини внутрішньої будови речовини із розрішенням 100 нм;
- 2001 р. – Ральф Меркле з фірми «Ксерокс» у Каліфорнії розробив нанoelementи для приладів і роботів. Роботи можуть використовуватися для переміщення тілом людини і її кровоносними судами;
- 2002 р. – в Австралії міжнародна група вчених (Австралія, Росія, Японія та ін.) приступила до розробки «квантового комп'ютеру» нанорозмірів, в якому запис інформації буде відбуватися на молекулярному рівні. Передбачено відмовитися від бінарної (двійкової) системи і перейти на так званий Q-бітний принцип, що дозволяє паралельну обробку інформації;
- 2002 р. – Сіз Деккер поєднав вуглецеву трубку з ДНК і одержав єдиний наномеханізм;
- 2005 р. – наночастинки почали використовувати для дослідження ракових клітин;
- 2005 р. – компанія Altair Nanotechnologies (США) оголосила про створення інноваційного нанотехнологічного матеріалу для електродів літій-іонних акумуляторів (що мали час зарядки 10–15 хвилин), а з 2006 р. – закінчені випробування і розпочато спільне виробництво електромобілю з використанням наноакумуляторів;
- 2007 р. – Пітер Грюнберг і Альберт Ферт одержали Нобелівську премію з фізики за відкриття GMR-ефекту, що дозволяє виконувати запис даних на жорстких дисках з атомарною щільністю інформації;
- 2007 р. – компанія Intel розробила новий прототип процесору, що містить найменший структурний елемент розмірами приблизно 45 нм, а також з наміром досягти розмірів структурних елементів до 5 нм. Компанія AMD спільно з компанією IBM створили робочі зразки процесорів з транзисторами розміром 32 нм і дослідні зразки на 22 нм з використанням додаткового ізолюючого шару SOI, що перешкоджає витоку струму за рахунок додаткової ізоляції структур, які формують транзистор;

- 2008 р. – розроблено спільний проект і представлено у Нью-Йорку гнучкий стільниковий телефон науково-дослідного центру Nokia і Кембриджського університету, який демонструє можливості нанотехнологій у створенні матеріалів, що тягнуться, транспарентної електроніки, поверхонь, що самоочищуються, а також здатні вивести індустрію стільникових телефонів на новий рівень і задовольнити нові потреби користувачів;
- 2010 р. – створення номенклатури, системи параметрів і обмежень для наноматеріалів.

Спеціалісти прогнозують такі процеси у застосуванні нанотехнологій [3, с. 35]:

- 2015 р. – розповсюдження нанотехнологій в медицині, наприклад «лабораторій-на-чипі»;
- 2020 р. – вуглецеві нанотрубки суттєво підвищують ефективність передачі енергії.

Вперше думка про те, що в майбутньому людство зможе створювати будь-які об'єкти, навчившись маніпулювати окремими атомами (тобто використовувати їх як звичайний будівельний матеріал), була чітко сформульована у славнозвісній лекції професора Каліфорнійського технологічного інституту Ричарда Філіпа Фейнмана «Там унизу багато місця» [4]. Але найбільш актуальною ставало завдання створення інструментів та мікропристроїв для вивчення будови конструкційних матеріалів на нанорівні. І вже саме в цій лекції Фейнман відмітив, що *біологічні системи виробляють функціонуючі нанопрстрої*, починаючи з самого виникнення життя, і людство може узяти з біології багато нових ідей про їх створення.

Термін «нанотехнологія» був запропонований японським професором Норіо Танігучі з Токійського університету у середині 70-х років минулого століття у його доповіді «Про основні принципи нанотехнологій» (*On the basic Concept of Nanotechnology*) на міжнародній конференції (*International Conference on Precision Engeneering*) у 1974 р. в Токіо [5]. За змістом під цим терміном малася на увазі велика сукупність знань, підходів, прийомів, конкретних процедур та їх матеріалізовані результати – нанопродукція.

Сучасний вигляд ідеї нанотехнології сформувався під впливом робіт Кіма Еріка Дрекслера, що працював в лабораторії штучного інтелекту Масачусетського технологічного інституту (США). Дрекслер сформулював концепцію універсальних молекулярних роботів, що працюють за заданою програмою і збирають будь-які об'єкти (в тому числі і собі подібні) з підручних молекул [3 – 12].

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

На сьогоднішній день існує велика кількість наукових досліджень і публікацій як закордонних, так і російських і українських учених, фахівців, що працюють у сфері «нанотехнологій», видаються спеціалізовані журнали, створена велика кількість сайтів і каталогів наукової літератури [13 – 30]. Крім того, за останні п'ятнадцять років з'явилася безліч визначень «нанотехнологій», деякі з яких наведено у *табл. 2.1*.

Таблиця 2.1

**Визначення поняття «нанотехнології»**

Визначення	Автор (джерело)
1	2
<i>Нанотехнологія</i> – технологія виробництва, що дозволяє досягати надвисоку точність і ультрамалі розміри порядку 1 нм	Норіо Танігучі [5]
<i>Нанонаука</i> – міждисциплінарна наука, що належить до фундаментальних фізико-хімічних досліджень об'єктів і процесів з масштабами у кілька нм (1 нм = 10 <sup>-9</sup> м) <i>Нанотехнологія</i> – сукупність прикладних досліджень нанонауки та їхніх практичних застосувань, включаючи промислове виробництво й соціальні додатки	Кобаясі Н. [16, с. 24 – 25]
<i>Нанотехнології</i> – це технології маніпулювання речовиною на атомному й молекулярному рівні	За матеріалами сайту [31]
<i>Нанотехнологією</i> називається міждисциплінарна галузь науки, у якій вивчаються закономірності фізико-хімічних процесів у просторових областях нанометричних розмірів з метою управління окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових молекул, наноструктур, наноустроїв і матеріалів зі спеціальними фізичними, хімічними й біологічними властивостями	Професор Г. Г. Єленіна (МДУ, Інститут прикладної математики ім. М. В. Келдиша РАН), за матеріалами сайту [32]
<i>Наноматеріали</i> – молекулярні кластери (об'єкти, що займають проміжну нішу між молекулами й частками речовини. Вони мають специфічний набір властивостей, частина з яких властива молекулам, але неможлива у часток речовини, а частина, навпаки, характерна для речовини, але не застосовна до окремої молекули), а також близькі до них по розмірах частки й складні просторові молекули, розміри яких, принаймні, у двох напрямках більше одного нанометра, але перевищують кілька десятків нанометрів не більше, ніж в одному напрямку	М. Н. Ваучський [33]
<i>Нанотехнологія</i> – сукупність методів і прийомів, що забезпечують можливість контрольованим способом створювати й модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, хоча б в одному вимірі, які в результаті цього отримують принципово нові якості, що дозволяють здійснити їхню інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи великого масштабу; у більш широкому розумінні цей термін охоплює також методи діагностики, характерології досліджень таких об'єктів	Федеральне Агентство з науки й інновацій РФ у «Концепції розвитку в РФ робіт в галузі нанотехнологій до 2010 р.», за матеріалами сайту [34]
Нанотехнології – сукупність методів і прийомів, застосовуваних при вивченні, проектуванні, виробництві й використанні структур, устроїв і систем, що включають цілеспрямований контроль і модифікацію форми, розміру, інтеграції й	Державна Корпорація РФ «Роснано», за матеріалами сайту [34]

Закінчення табл. 2.1

1	2
взаємодії складових їх наномасштабних елементів (1 – 100 нм) для одержання об'єктів з новими хімічними, фізичними, біологічними властивостями	
<i>Нанотехнології</i> – набір наукових, технологічних і виробничих напрямків, які об'єднані в єдину культуру, засновану на проведенні операцій з матерією на рівні окремих молекул і атомів	Д. В. Ліванов (Статс-секретар Мінісвіта науки РФ), за матеріалами сайту [35]
<i>Нанотехнології</i> – це галузь знання, орієнтована на вивчення й застосування матеріалів, які наноструктуровані й мають розмір часток від 1 до 100 нанометрів (нано – 10–9)	Ю. Д. Трет'яков (академік), за матеріалами сайту [36]
<i>Нанотехнологія</i> – це техніка маніпуляції на атомарному рівні, тобто технологія, що оперує об'єктами величиною порядку нанометра, за розміром порівнянними з атомами. У цей час термін «нанотехнологія» використовується в широкому сенсі, охоплюючи й поєднуючи технологічні процеси й системи машин і механізмів, здатні виконувати операції в масштабі декількох нанометрів	А. И. Гусев (д-р ф.-м. н., професор, завідувач лабораторією ІХТТ), за матеріалами сайту [37]
<i>Нанотехнологія</i> – це сукупність методів і прийомів структуризації речовин на атомному й молекулярному рівнях з метою виробництва кінцевих продуктів із заздалегідь заданою атомарною структурою. Нанотехнології дають можливість створювати об'єкти, що мають принципово нові якості й дозволяють здійснювати їхню інтеграцію в повноцінну функціонуючі системи більшого масштабу, а також створювати матеріали, які містять структурні наночастки й мають якісно нові властивості й експлуатаційні характеристики	В. С. Пономаренко, Ю. Ф. Назаров, В. П. Свідерський, І. М. Ібрагімов, [2, с. 8]
<i>Нанотехнологія</i> – міждисциплінарна галузь фундаментальної й прикладної науки й техніки, що має справу із сукупністю теоретичного обґрунтування, практичних методів дослідження, аналізу й синтезу, а також методів виробництва й застосування продуктів із заданою атомарною структурою шляхом контрольованого маніпулювання атомами й молекулами	Енциклопедія «Вікіпедія» [38]

У самому загальному вигляді нанотехнологія – це галузь прикладної науки і техніки, що займається вивченням властивостей об'єктів і розробкою пристроїв за розмірами порядку нанометру (за системою одиниць СІ,  $10^{-9}$  метра).

У документах державної програми США «Національна нанотехнологічна ініціатива» наведено розгорнуте визначення, сформульоване авторитетними спеціалістами: «Нанотехнології – це дослідження і технологічні розробки на атомарному, молекулярному або макромолекулярному рівні у шкалі розмірів приблизно від 1 до 100 нм, що проводяться для одержання фундаментальних знань про природу явищ і властивостей матеріалів у нанощкалі, а також для створення і використання структур, приладів і систем, які володіють новими якостями завдяки своїм малим розмірам. Нанотехнологічні дослідження і розробки включають маніпуляції, що контролюються, нанорозмірними структурами та їх інтеграцію в більш крупні компоненти, системи і архітектури» [10 – 11].

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

Деякі фахівці наполягають на тому, що до «справжніх» нанотехнологій варто зараховувати не ті, у яких обробляються нанометричні об'єкти, а лише ті, у яких на молекулярному рівні здійснюється реальний технологічний контроль над розмірами виготовлених деталей. Тобто, нанотехнології – це система керування речовиною на атомарно-молекулярному рівні.

Таким чином, *нанотехнології* – це наука й техніка створення, виготовлення, характеристикації й реалізації матеріалів і функціональних структур і устроїв на атомному, молекулярному й нанометричному рівнях.

Необхідно відзначити, що в США прийнято розрізняти поняття «нано-наука» і «нанотехнологія». Нанонаука, поєднуючи в собі наноелектроніку, наномеханіку, наноматеріали й ґрунтуючись на досягненнях у різних галузях природничих наук (насамперед, у таких галузях, як фізика, хімія, біологія, математика й інформатика), забезпечує появу й розвиток нанотехнологій. При цьому бюджетне фінансування досліджень в галузі нанонауки здійснюється в рамках бюджетної категорії «фундаментальні дослідження».

Підсумовуючи думку більшості спеціалістів, *нанонауку* можна визначити як сукупність знань про структуру і особливості поведінки речовини у нанометровому масштабі розмірів, а нанотехнологію і нанотехніку – як мистецтво створювати і використовувати об'єкти і структури з характерними розмірами в діапазоні від атомарних до  $\approx 100$  нм (хоча б в одному з трьох вимірів). Тобто таке визначення окреслює проміжну область, що займають нанотехнології – від світу окремих атомів, що досить точно описується квантовою механікою, до макросвіту, який підвладний континуальним теоріям (пружності, гідро- і електродинаміки тощо) [39, с. 12 – 13].

Пристаюючи до комерціалізації нанотехнологій, людство нагромадило безліч інформації щодо фізичних, хімічних і біологічних закономірностей, пов'язаних із процесами на атомарно-молекулярному рівні, однак нанонаука (як єдина дисципліна, що поєднує всі ці закономірності) поки перебуває в зародковому стані. Створення такої об'єднаної науки може стати ключовим моментом у новій «технологічній революції» [27, с. 271]. Для цього необхідно вирішити три основні завдання:

- 1) створити основні, фундаментальні методик, що дозволяють спостерігати, описувати, переміщати й поєднувати наночастки з високою точністю;
- 2) розробити прийоми, що дозволяють упевнено й систематично поєднувати наночастки, створюючи композиційні об'єкти більших масштабів за умови, що існує можливість оцінювати ступінь зростання складності на новому рівні;



3) створити технології, чітко уявляючи, яким чином виникаючі на нанорівні й здатні до розвитку властивості речовини будуть пізніше проявлятися у функціональності створюваних матеріалів і устроїв.

Як видно з табл. 2.1, нанотехнології (НТ) – це досить широкий клас наук, що, у свою чергу, має дуже багато аспектів розвитку. Як наслідок, можлива побудова класифікації НТ за декількома дуже різними ознаками й особливостями. Наприклад, різні напрямки НТ можуть бути систематизовані за ступенем складності використовуваних і створюваних структур, виходячи з наростаючої розмірності об'єктів (табл. 2.2) [17, с. 81].

Таблиця 2.2

**Класифікація нанотехнологій за ступенем ускладнення об'єктів і зростання їхньої розмірності (від точки до об'ємних елементів)**

Клас об'єктів	Конкретні приклади й додатки
1	2
Гомогенні / періодичні (об'ємні) структури	
Нанопорошки, наночастки в розчині	Фарби, косметичні креми (від засмаги)
Нанотрубки, нанодроти	Вуглецеві нанотрубки
Прості шари й покриття нанометричної товщини (наприклад, одержувані адсорбцією з розчину, у багатьох випадках з молекул із заданою орієнтацією, завдяки самоорганізації й т. ін.)	Алмазні плівки на різноманітних поверхнях, моношарні покриття в молекулярній електроніці, захисні покриття, сонячні батареї
Тривимірні шаруваті структури	Магнітні запам'ятовувальні пристрої
Тривимірні періодичні й випадкові утворення	Кристалізовані білки, тривимірні устрої молекулярного запису
Складні структури	
Лінійні ланцюжки	Інформаційні молекули (наприклад, ДНК)
Поверхневі структури з незначною глибиною	Новітні мікроелектронні устрої, наномеханічні устрої
Багатошарові покриття, одержувані різними методами	Так звані поверхневі лазери з вертикальним резонатором (VSCSEL)
Розвинені тривимірні структури, що не володіють здатністю до самовідновлення або самореплікації	Маніпуляції з ДНК, біомолекулярні комп'ютери, наномашини
Розвинені тривимірні структури, що володіють здатністю до самовдосконалення (самореплікації)	Самовідновлювальні нанороботи

Тенденція до злиття різних видів нанотехнології, біотехнології, інформаційних технологій і наук про пізнання підкреслює той факт, що нанотехнологія є суцільно міждисциплінарною галуззю науки й техніки, що, у свою чергу, утруднює класифікацію напрямків нанотехнології відповідно до загальноприйнятого подання про фундаментальні науки (табл. 2.3) [17, с. 82].



**Зв'язок різних науково-технічних дисциплін з нанотехнологіями**

Галузі науково-технічних досліджень	Досліджувані об'єкти й можливі додатки нанотехнологій
Фізика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ аналітичні й механічні прилади й пристрої;</li> <li>▪ скануючі зондові мікроскопи;</li> <li>▪ оптичні мікроскопи ближнього поля; оптичні «щипці»;</li> <li>▪ електронні, магнітні, оптичні властивості наноструктур;</li> <li>▪ наномеханіка;</li> <li>▪ самоорганізація структур і об'єктів</li> </ul>
Хімія /Матеріалознавство	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ частки і покриття;</li> <li>▪ пористі матеріали;</li> <li>▪ дендримерні молекули;</li> <li>▪ нановолокнисті композити;</li> <li>▪ структури на основі ДНК</li> </ul>
Електроніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ літографія з використанням оптичних, електронних і іонних пучків;</li> <li>▪ багат шарові магнітні датчики;</li> <li>▪ запис інформації за допомогою механічних мікрозондів;</li> <li>▪ використання нанотрубок як перемикачів, провідників і т. п.</li> </ul>
Біологія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ аналіз біомолекул;</li> <li>▪ аналіз клітинних процесів;</li> <li>▪ біомінералізація;</li> <li>▪ біологічні мотори;</li> <li>▪ біокомп'ютери</li> </ul>
Медицина	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ одержання наночасток із нанесеними на їхню поверхню антигенами/антитілами/ділянками ДНК;</li> <li>▪ використання наночасток для оптичної сигналізації про стан органів і тканин, застосування магнітних наночасток для виділення й нагрівання окремих ділянок тканин, подолання імунного бар'єра організму за рахунок перенесення препаратів на наночастках;</li> <li>▪ створення й використання ДНК-чипів;</li> <li>▪ створення біосумісних матеріалів і речовин;</li> <li>▪ використання імплантантів для контролю стану організму й дозованого введення препаратів;</li> <li>▪ створення й застосування електродів, що забезпечують контакт із мозком і нервовою системою</li> </ul>

На *рис. 2.1* наведено зв'язок різних наук, нанотехнологій і нанопродуктів [40].

Останнім часом відбувається деяке розширення поняття нанотехнології – зараз до неї відносять не тільки системи й вироби з розмірами менше 100 нм. У широкому значенні цей термін уже застосовується навіть для мікроелектричних механічних систем (МЕМС) – класу мікроскопічних устроїв, виготовлених

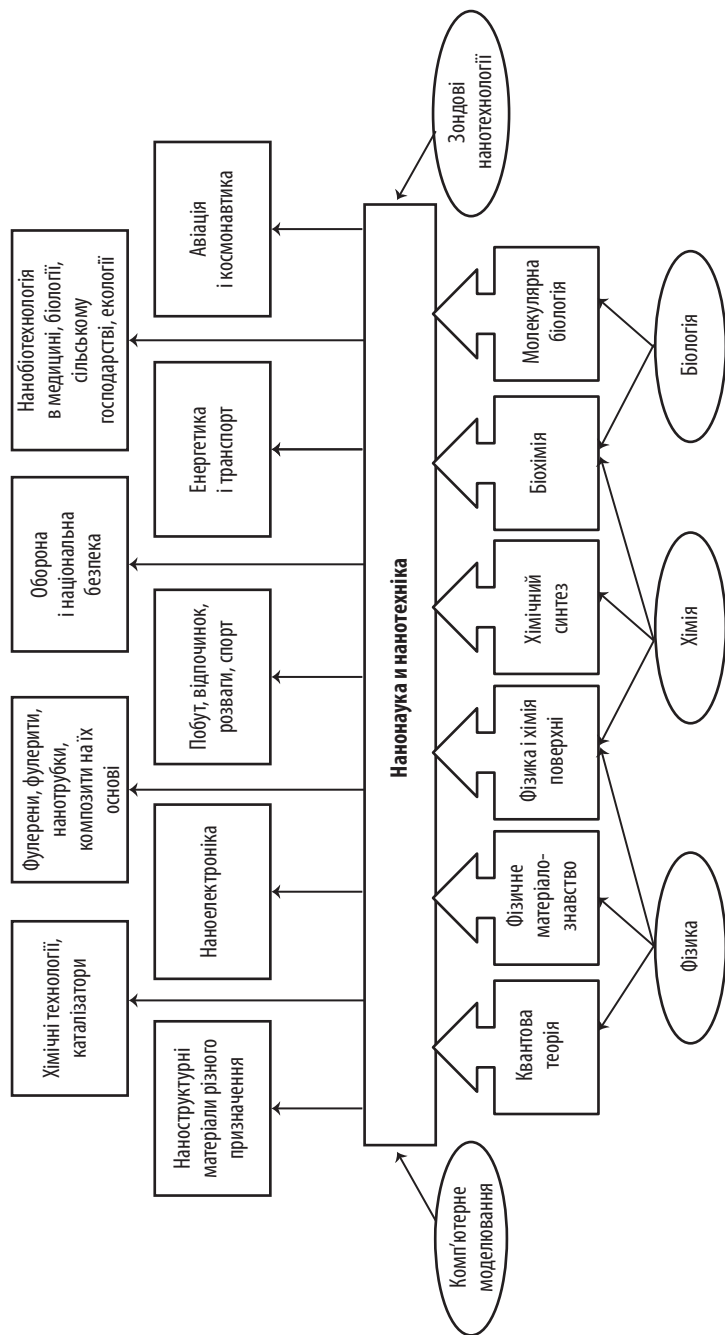


Рис. 2.1. Фундаментальні основи і сфери використання нанонауки і нанотехніки

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

методами, запозиченими у виробників мікросхем. МЕМС – понадмініатюрні за будь-якими мірками, але їхні габарити можуть в 1000 разів перевищувати нанорозмірні об'єкти. Це пов'язане з тим, що у такий спосіб залучається увага до прикордонної зони між найменшими продуктами мініатюризації й найбільших виробів молекулярного конструювання. Саме завдяки гібридним компонентам і технологіям у цій галузі буде відбуватися поступовий розвиток і освоєння нанотехнологій. І тоді термін МЕМС цілком обґрунтовано можна буде замінити новим – НЕМС (наноелектромеханічні устрої) [2, с. 48 – 50].

Специфіка явищ і процесів, які відбуваються при переході від класичної міліметрової технології (розвиток якої припав на середину ХХ століття у зв'язку з появою промислової електроніки) до нанотехнологій, пов'язана із проявом квантових фізичних законів і хвильовою природою мікрочастинок. Як наслідок, у цій галузі не діють закони класичних технологій, відбувається перехід від суцільної речовини класичних технологій до атомарно-структурних речовин квантової нанотехнології, людство вступає в таку «виробничу» сферу, де зникає межа між живою й неживою природою. Властивості речовин і матеріалів, створених нанoeлементами, обумовлені не тільки зменшенням структурних елементів, але й хвильовою природою перенесення й домінуючою роллю поверхонь розділу.

Управляючи розмірами й формою наноструктур, таким матеріалам можна надавати абсолютно нові функціональні характеристики, які різко відрізняються від характеристик звичайних матеріалів [2, с. 260].

Крім того, нанотехнології вимагають використання *зовсім нових технологічних способів виробництва*, що вимагають надточних інструментів і надчистих приміщень. Найпоширенішим способом одержання малих структур і виробів (наприклад, у виробництві мікроелектронних виробів) є *спадне* (зверху донизу) виробництво, при якому виготовлювач, користуючись макроскопічними інструментами, видаляв (або додавав) з великої заготівлі необхідну кількість матеріалу, намагаючись забезпечити можливо більшу точність розмірів. Такий підхід при переході до наномасштабних об'єктів призводить до непереборних технічних складностей і різкого зростання вартості виробництва (для забезпечення підвищеної точності обробки).

Масове, дешеве виробництво вимагає виготовлення великої кількості виробів. Стандартними підходами до організації такого виробництва є: ретельне виготовлення вихідного нанофрагменту, з якого потім простими операціями можна одержати велику кількість копій (літографія, штампування, тиснення, друкована справа); використання великої кількості автоматичних нано/мікроманіпуляторів, що працюють паралельно [41, 42].

Принципово інший принцип пов'язаний з так званим *висхідним* (знизу нагору) виробництвом, при якому під дією хімічних і каталітичних реакцій атоми й молекули самостійно збираються в наноструктури, тобто на основі самоорганізації [43]. Цей підхід ґрунтується на можливості створення таких систем і матеріалів, які важко або навіть неможливо одержати традиційними хімічними методами (заснованими на термодинамічних або стохастичних процесах). Висхідні процеси припускають поступовий перехід від простого самоскладання до моделювання складних явищ, які подібні до розвитку живих організмів [17, с. 60].

Прикладами специфічних *виробничих процесів* одержання наноматеріалів, відповідно до класифікації за основними способами виробництва, можуть бути такі [2, с. 48 – 50]:

- одержання часток з газової фази (полум'я, плазма);
- одержання нанокompозитів методами золь-гель;
- оптична літографія, літографія із застосуванням електронних, іонних, атомарних пучків;
- штампування, молекулярне «друкування»;
- самоскладання;
- створення структур на поверхні при маніпуляціях окремими атомами й молекулами з використанням скануючих зондових мікроскопів;
- механосинтез (молекулярні нанотехнології).

Крім того, можлива низка сценаріїв розвитку нового напрямку, які можуть призвести до розчарувань і втрат [27, с. 41]:

- нанотехнологія може виявитися ще одним «холодним синтезом», тобто науковою ідеєю, яка в далекій перспективі обіцяє дати винятково важливий результат. Цінність ідеї спочатку безмірно перебільшується, а пізніше весь цей науковий напрямок виявляється марним і «вмирає», залишаючи лише пам'ять про запеклі дискусії й загублені наукові авторитети деяких учасників;
- нанотехнологія може розвиватися й за сценарієм відкриття «синтетичного палива» і багатьох інших проектів, що становлять цілком розумний і перспективний науковий напрямок, який пізніше виявився марним (через економічні міркування – вирішення побічних технічних проблем або безперервного вдосконалення, що затяглося на багато років);
- нанотехнологія може бути варіантом проблеми «штучного інтелекту», тобто абстрактного, але розумного наукового поняття (або, точніше, на-

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

клейки, «лейбла»), що при подальших дослідженнях втрачає власний зміст і створює цілу низку окремих наукових напрямків. Наприклад, зараз ніхто не займається створенням «штучного інтелекту» взагалі, тому що ця грандіозна наукова проблема давно «розпалася» на безліч конкретних завдань, що ставляться до обчислювальної техніки, комп'ютерів, дослідження операцій, теорії ігор і багатьох інших наукових дисциплін.

На думку авторів, сьогодні **нанотехнології** вже втратили незвичайність і статус наукової примхи, а є **однією з основних тенденцій розвитку науки й техніки, своєрідним мейнстрим суспільного прогресу взагалі** [ 44].

Дослідники, інвестори, фірми вже оцінили можливості нових технологій і усе ширше впроваджують їх у комерційне виробництво. Очевидно, *нанотехнології зможуть вийти на повномасштабне комерційне застосування* після того, як будуть вирішені три проблеми: самоорганізація наноматеріалів, їхнє самоформування й самоскладання. Наприклад, уже сьогодні розроблено технології самоорганізації й самоформування наноматеріалів під впливом магнітного поля, світла або під час фазового переходу при зміні тиску або температури [2].

Нанотехнології вже зачіпають і можуть докорінно змінити електроніку, енергетику, медицину й багато інших галузей економік країн світу. Перехід до нанотехнологій, а саме до атомного конструювання будь-яких матеріалів, надає найважливіший результат – дематеріалізацію виробництва і різке якісне зменшення енерго- і ресурсоемності.

Розвинені країни, які можуть собі дозволити значні інвестиції в розвиток науки, давно це зрозуміли й вкладають у розвиток нано- і біотехнологій величезні кошти. Особливо активно наукові дослідження в галузі нано- і біотехнологій ведуться в Європі, США і Японії. Крім того, високу активність у сфері створення нано- і біотехнологій в останні роки демонструють Китай і Росія.

Нанотехнології, які можна назвати системою управління речовиною на атомарно-молекулярному рівні, упевнено займають нові позиції в промисловості й у суспільному житті. Проте, і сьогодні існує *проблема* оцінки впливу нанотехнологій на перспективи розвитку різних галузей економіки, а також механізмів державної підтримки розвитку цього напрямку для інноваційного розвитку економіки різних країн світу.

## 2.2. Перспективні напрямки застосування нанотехнологій і нанопродуктів

Розглянемо більш докладно перспективи використання нанотехнологій та їх продуктів у відповідності зі сферами наукових інтересів і застосування.

### 2.2.1. Наноматеріали

Вперше термін «*наноматеріали*» було уведено Г. Глейтером спочатку як нанокристалічні матеріали, потім вже як наноструктурні, а також нанофазні, нанокомпозитні тощо. Ним же було обґрунтовано концепцію появи нових властивостей у таких матеріалів, що заснована на значному впливі ролі міжзеренних меж та інших поверхонь поділу в них [45 – 47].

Принципово нові властивості наноматеріалів пов'язані, в першу чергу, із квантуванням енергетичного спектру квазічастинок у нанооб'єктах і структурах зниженої розмірності, що найбільш яскраво проявляється у фундаментальній зміні властивостей напівпровідників, магнетиків, органічних і вуглецевих матеріалів, молекулярних ансамблів. Багато що з кардинально відмінних властивостей наноматеріалів стосовно об'ємних матеріалів однакового хімічного складу обумовлено ефектами багатократного збільшення частки поверхні нанозерен і нанокластерів (до сотень квадратних метрів на грам). Із цим пов'язані нові властивості багатьох конструкційних і неорганічних наноматеріалів.

Відповідно до класифікації нанопродуктів, розробленої в рамках аналітичного проекту Міністерства освіти і науки Російської Федерації, речовина або об'єкт вважається *наноматеріалом*, якщо задовольняє таким умовам [48, с. 46]:

- має розміри або властивості нанорівня;
- щонайменше, один із зовнішніх розмірів – в діапазоні нанорівня (тобто менше 100 нм);
- внутрішні структури (наприклад, кластери, кристаліти або молекули) – в діапазоні 1 – 100 нм;
- елементи складу – нанорозміру (наприклад, нанокомпозити);
- структури або характеристики, що розробляються на молекулярному або нанорівні;
- не продукується живими організмами в кінцевій формі;
- потребує подальшої обробки, додавання інших матеріалів або додаткових витрат для відповідності цільовому призначенню, що передбачається.

Термін «наноматеріали» охоплює велику групу різних матеріалів (наноструктурні, нанофазні, нанопористі, нанокомпозитні тощо, а також нанопо-

рошки, нанотрубки, нанокапсули, нановолокна, наночастинки, наноплівки тощо), які одержані на основі нанотехнологій. Основні типи наноматеріалів наведено на рис. 2.2 [39, с. 220].



Рис. 2.2. Основні типи наноматеріалів

Характерною ознакою усіх таких матеріалів є наявність в них основних структурних елементів (кристалітів, пор, волокон, шарів тощо), розмір яких, щонайменше в одному вимірі, не перевищує так званої нанотехнологічної межі – 100 нм. Можливо, що в майбутньому об'єкт будуть розглядати як нанорозмірний тільки за наявності двох і, безумовно, трьох вимірів, що попадає в «нанодіапазон» [48]. Як наслідок, тільки протяжні об'єкти (в тому числі стрижні, волокна, трубки) діаметром менше 100 нм, а також частинки будь-якої форми, усі три виміри яких знаходяться у діапазоні від 1 до 100 нм, можна буде називати нанострижнями, нановолокнами, нанотрубками і наночастинками.

Деякі фахівці пропонують розділити усі наноматеріали на основні і похідні. Нанострижні, нановолокна, нанотрубки і наночастинки, незалежно від того, з яких речовин (органічних або неорганічних, металів, оксидів, складних з'єднань) вони утворені, це – категорія *основних наноматеріалів*. Головною ознакою, що дозволяє їх віднести до «наносфери» є те, що два чи три виміри об'єкта відносяться до нанодіапазону від 1 до 100 нм.

*Похідні наноматеріали* – це більш складні комплексні структури, які містять в собі основні наноматеріали. Одним із представників похідних наноматеріалів є нанокераміка, яка одержується за допомогою спікання первинних

наночастинок, наприклад, простих або складних оксидів металів. При цьому у склад нанокераміки, крім кристалічної нанорозмірної фази, може входити аморфна (склообразна) зв'язувальна фаза. Іншим прикладом похідних наноматеріалів можуть служити нанокомпозити, що складаються з первинних наночастинок, нанострижнів, нановолокон та (або) нанотрубок, пов'язаних між собою полімерною «зв'язкою», яка надає такому вторинному наноматеріалу зовсім нові корисні якості (міцність, гнучкість, термостійкість, тепло- і електропровідність тощо).

Крім того, є ще один вид матеріалів, що відноситься до наноматеріалів, – це *монолітні матеріали*, структурні одиниці яких мають нанорозміри. До цього виду можна віднести такі різноманітні матеріали як активоване вугілля, яке одержують обвугленням природних структурованих висхідних матеріалів типу деревини або шкарлупи кокосових горіхів, наноструктурована глиноземна ( $Al_2O_3$ ) кераміка, що використовується для виготовлення трубок газорозрядних ламп високого тиску, а також нанокристалевий металевий титан, який використовується як конструкційний матеріал.

У табл. 2.4 надається скорочена характеристика кожного з сегментів наноматеріалів [48, с. 47].

Таблиця 2.4

**Основні категорії наноматеріалів**

№ з/п	Тип наноматеріалу	Визначення	Приклад
1	Тверді наночастинки	Надмалі тверді частинки нанорозміру, включаючи нанокристали і нанопорошки	Наночастинки оксиду цинку використовуються як ультрафіолетовий фільтр у сонцезахисних кремах
2	Нанотрубки та інші порожнисті наночастинки	Порожнисті частинки нанорозміру, включаючи нанотрубки, а також інші види порожнистих частинок (нанорожки і нанокапсули)	Еммітери електронів для дисплеїв польового випромінювання
3	Нанорозмірні тонкі плівки	Покриття, товщина та (або) внутрішня структура яких складають не більше 100 нм	Нанокаталітичні покриття для каталітичних конверторів
4	Наноструктурні монолітні матеріали	Об'ємні тверді тіла, внутрішня структура яких є нанорозмірною	Активоване вугілля
5	Нанокомпозити	Суміш двох або більше різноманітних компонентів, щонайменше один з яких має нанорозміри	Нанокомпозити Нейлон 6 (Nylon 6), що використовуються в деталях автомобілів і прозорих бар'єрних пакувальних плівках

У табл. 2.5 подано основні перспективні напрямки застосування наноматеріалів [23, с. 20 – 33; 49, с. 99 – 108].



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Таблиця 2.5

### Перспективні напрямки застосування наноматеріалів

№ з/п	Структура	Вид	Основні фізичні явища	Застосування	Сектор ринку
1	2	3	4	5	6
1	Напівпровідникові наноструктури	Квантові ями – системи, у яких є розмірне квантування руху носіїв заряду в одному напрямку	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розмірне квантування електронного спектру;</li> <li>квантовий ефект Холу;</li> <li>при спеціальній під-готовці – дуже висока рухливість електронів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Високочастотні польові транзистори з високою рухливістю електронів;</li> <li>напівпровідникові гетеролазери й світлодіоди від ближнього ІЧ-діапазону до блакитного світла;</li> <li>лазери, фотоприймачі, модулятори ІЧ-діапазону</li> </ul>	Електроніка, інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), мікроелектроніка
		Квантові дроти – системи, у яких рух носіїв заряду квантовано у двох напрямках	<ul style="list-style-type: none"> <li>Квантування провідимості;</li> <li>управління їх кристалографічною орієнтацією;</li> <li>сильно корельований електронний транспорт</li> </ul>	Перспективний матеріал для побудови напівпровідникових електронних і оптоелектронних пристроїв	Інфрачервона техніка (ІЧ), мікроелектроніка
		Квантові токи – нанооб'єкти, у яких рух носіїв заряду квантовано в трьох напрямках	Одноелектронні й однофотонні явища	<ul style="list-style-type: none"> <li>Лазери й світлодіоди в ближньому ІЧ-діапазоні;</li> <li>фотоприймачі для середнього ІЧ-діапазону;</li> <li>однофотонні приймачі;</li> <li>однофотонні генератори;</li> <li>одноелектронні транзистори</li> </ul>	- « -
		Структури з тунельно-прозорими бар'єрами – системи квантових ям і надрешітки	<ul style="list-style-type: none"> <li>Резонансне тунелювання;</li> <li>формування мінізонного спектру в надрешітках – періодичних системах квантових ям, розділених бар'єрами;</li> <li>нелінійні електричні й оптичні явища у надрешітках</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Резонансно-тунельні діоди (генератори й змішувачі в пга- і терагерцовому діапазоні);</li> <li>потужні генератори й змішувачі на над-решітках;</li> <li>каскадні лазери середнього й далекого ІЧ-діапазонів</li> </ul>	- « -

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5	6
2	<p>Фулеренопідібні матеріали</p>	<p>Фотонні кристали – системи, у яких є зонний спектр для фотонів</p> <p>Фулерени – створені молекулами <math>C_{2n}</math>, що мають форму сфер або еліпсоїдів і утримують фрагменти з п'ятикратною симетрією, що невластиво для неорганічних сполук у природі.</p> <p>Наповнені фулерени – молекулами газів, органічними та неорганічними молекулами, атомами металів</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Відсутність пропускання (повне відбиття) світла у певному діапазоні частот;</li> <li>резонансні фотонні стани</li> <li>Розмір молекул головного предстваника фулеренів <math>C_{60}</math> становить 1 нм (можливі багаточарові «цибулинні» структури);</li> <li>молекула <math>C_{60}</math> визначена органічною та є зв'язуючою ланкою між органікою й неорганікою;</li> <li>володіють хімічною стійкістю, високою міцністю, твердістю, ударною в'язкістю, теплопровідністю й електропровідністю</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ефективні лазери з низькими граничними струмами;</li> <li>системи керування світловими потоками</li> <li>Можуть бути діелектриками, напівпровідниками;</li> <li>можуть володіти металевою та високотемпературною надпровідністю;</li> <li>унікальний матеріал для електричних провідів, надпровідних з'єднань і пристроїв молекулярної електроніки;</li> <li>сприяють хімічному складанню елементів різних схем;</li> <li>використовуються при створенні засобів молекулярної оптоелектроніки, резисторів нового покоління;</li> <li>перенесення й адресна доставка речовин</li> </ul>	<p>ІЧТ, мікроелектроніка</p> <p>ІЧТ, мікроелектроніка, енергетика, медицина</p>
	<p>Вуглецеві нанотрубки – утворені зі згорнутих по різноманітним напрямкам графітових площин.</p> <p>Наповнені нанотрубки – у тому числі фулеренами меншого діаметру</p> <p>Графен – нанотрубка, розгорнута у двомірний аркуш</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Одношарові та багаточарові, мають розгалуження й вигини;</li> <li>за міцністю значно перевершують залізо й близькі до алмазу, а за масою легше пластику;</li> <li>можуть бути металами, напівметалами й напівпровідниками.</li> <li>Графен стабільний, дуже гнучкий, міцний і проводить електричний струм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Голчасті шупи скануючих зондових мікроскопів;</li> <li>дисплеї з польовою емісією;</li> <li>високоемісійні композиційні матеріали;</li> <li>наномеханізми зі схемами з коротких нанотрубок, отримани шляхом складання;</li> <li>перенесення й адресна доставка речовин (ліків, водно й ін.);</li> <li>графен – перспективна основа гнучких наелектронних пристроїв</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Голчасті шупи скануючих зондових мікроскопів;</li> <li>дисплеї з польовою емісією;</li> <li>високоемісійні композиційні матеріали;</li> <li>наномеханізми зі схемами з коротких нанотрубок, отримани шляхом складання;</li> <li>перенесення й адресна доставка речовин (ліків, водно й ін.);</li> <li>графен – перспективна основа гнучких наелектронних пристроїв</li> </ul>	<p>ІЧТ, мікроелектроніка, енергетика, медицина</p>

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Продовження табл. 2.5

1	2	3	4	5	6
		<p><i>Наноліна</i> – матеріал у вигляді найдрібнішої сітки (піни) з нанотрубок</p> <p><i>Нанотрава</i> – складається з віскерів – нитковидних кристалів</p> <p><i>Аерогель</i> – клас дисперсних середовищ, гелів, у якому рідка фаза повністю заміщена газоподібною</p> <p><i>Дендрити</i> – полімерна структура, що складається з молекул, які мають древовидну форму</p>	<p>Володіє магнітними властивостями, високою поглинаючою здатністю до Ц-випромінювання</p> <p>Унікальний комплекс властивостей</p> <p>Деревоподібна мережа з об'єднаних у кластери наночастинок, що при низькій щільності (1 кг/м<sup>3</sup>) володіє високою твердістю, прозорістю, жароміцністю</p> <p>Розгалужену структуру можна заповнювати різними речовинами, створюючи об'єкти із відповідними властивостями</p>	<p>Виявлення й знищення різних пухлин (відстеження томографом і більш інтенсивне Ц-нагрівання хворих тканин)</p> <p>Плетені матеріали або вата</p> <p>Пористий і міцний матеріал, у якому пори можуть займати до 90 – 99% усього обсягу речовини</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Адресна доставка ліків до уражених кліток організму;</li> <li>▪ складання наноелектронних систем за допомогою скануючої зондової мікроскопії</li> </ul>	<p>Медицина</p> <p>Медицина, будівельні матеріали</p> <p>Медицина, будівельні матеріали</p>
3	<p>Магнітні наноструктури</p>	<p>Багатошарові структури з надтонких феромагнітних і діамантних шарів</p> <p>Штучні кристали, утримує магнітні кластери Mn<sub>12</sub>, Fe<sub>3</sub></p>	<p>Ефект гігантського магнітоспротиву</p> <p>Тунелювання магнітного моменту у надмалих феромагнітних частках</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Магнітні наноматеріали для надшвидкого запису інформації;</li> <li>▪ датчики магнітного поля</li> <li>▪ Можливість квантових переходів між магнітними рівноважними станами в кластерах;</li> <li>▪ елементна база для квантового комп'ютера</li> </ul>	<p>ІЧТ, мікроелектроніка</p> <p>ІЧТ, мікроелектроніка</p>
4	<p>Двовимірні багатошарові структури</p>	<p>Штучні одновимірні кристали з плівок нанометрової товщини</p>	<p>Забезпечують найбільш сильне відображення електромагнітних хвиль</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Для управління випромінюванням залежно від матеріалу шарів;</li> <li>▪ рентгенівські дзеркала – для фокусування випромінювання синхротронів або рентгенівських трубок на досліджуваній об'єкт</li> </ul>	<p>Мікроелектроніка, прилади</p>

Закінчення табл. 2.5

1	2	3	4	5	6
5	Молекулярні наноструктури	Полімери  Молекулярні ансамблі  Одиначні молекули	Діелектричні, оптичні й люмінесцентні властивості  Чутливість і вибірковість до зовнішніх впливів (світло, атмосфера, вібрація)  Інжекція носіїв, тунельний струм в окремих молекулах	Широко використовуються у техніці й електроніці <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Клітинний транспорт, фотосинтез;</li> <li>▪ сенсори;</li> <li>▪ інтерфейс між неорганічними матеріалами</li> <li>▪ Молекулярні наномашини й наномотори;</li> <li>▪ динамічні молекулярні перемикачі;</li> <li>▪ транспортувальники енергії;</li> <li>▪ устрої розпізнавання, зберігання інформації</li> </ul>	ІТ, мікроелектроніка, біоніка
6	Конструкційні наноматеріали	Нові типи матеріалів	Сполучення високої міцності й пластичності	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Керамічні й композиційні виробы точної форми;</li> <li>▪ тверді сплави для різальних інструментів;</li> <li>▪ захисні термо- і корозійностійкі покриття;</li> <li>▪ полімерні композити підвищеної міцності й низької займистості</li> </ul>	Усі галузі

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Основні функціональні властивості різних матеріалів, які можна поліпшити за рахунок застосування наноматеріалів і нанотехнологій, наведено у *табл. 2.6* [49, с. 160].

Таблиця 2.6

### Властивості матеріалів, що поліпшуються за рахунок застосування наноматеріалів і нанотехнологій

№ з/п	Властивості	Метали	Напівпровідники	Кераміка	Полімери
1	Адсорбційні	–	–	–	+
2	Каталітичні	+	–	+	+
3	Магнітні	+	+	+	–
4	Механічні	+	–	+	+
5	Оптичні	+	+	–	–
6	Термічні	+	+	+	+
7	Електричні	+	+	–	–

Слід зазначити, що у нанотехнологіях поки (через молодість нової науки!) використовуються в основному лише хімічно однорідні типи матеріалів або структур. Надалі можуть стати надзвичайно перспективними вивчення й використання різних сполучень різнорідних наноматеріалів, що дозволяє одержати велику кількість нових матеріалів найчастіше з несподіваними властивостями. Так, можливі бінарні сполучення різних нанооб'єктів при створенні композиційних матеріалів: нульмерних (нанокластери, нанокристали), одномірних (нанотрубки, нанодроти), двомірних (тонкі плівки, тонкі острівні структури), тримірних (аерогелі, полімери). Усього можливі 28 типів композиційних матеріалів [50, с. 219].

Короткий огляд світових компаній – виробників наноматеріалів у 2009 р. поданий у *табл. 2.7* [51, с. 33 – 34].

Більшість компаній становлять підприємства середнього рівня й виробляють продукцію для так званих вузьких ринкових ніш. Їхні виробничі потужності обмежуються ринковими вимогами, причому можливість освоювати істотні промислові обсяги нанопродукції (у масштабі тонн) має лише невелике число компаній.

Типи нанопродукції, вироблені найбільшими компаніями, розподіляються в такий спосіб: наночастки (54%), нанотрубки (19%), фулерени (7%), пористі матеріали (7%), квантові точки (6%), нановолокна (3%), нанопроводи (2%), дендримери (2%) [52, с. 36].

Таблиця 2.7

## Компанії з виробництва наноматеріалів у світі у 2009 р.

№ з/п	Регіон	Країна	Число зареєстрованих компаній з нанотехнологій	Число компаній, що виробляють наноматеріали	Число компаній, що виробляють наночастинки	Вироблена продукція
1	Північна Америка	США й Канада	260	98	19	Оксиди (Ti, Zn, Ce, Al, Zr, Y, Cu, Mg, Si); люмінесцентні квантові точки; нановолокна, нанотрубки, фулерени; сплави Mo <sub>2</sub> WS <sub>2</sub> ; глини, карбіди, нітриди; метали (Al, Ni, Cu); титанати (Ba, Sr)
2	Азія	Китай	25	20	10	Оксиди (Zn, Ti, Ce); нанотрубки; глини, нітриди, карбіди, алмаз
		Японія	42	14	3	Оксиди (Zn, Zr); нанотрубки, фулерени; срібло
		Корея	18	9	7	Оксиди ITO, ATO, Ce, Ti; метали Ag і Pd; сплави WS <sub>2</sub> і WC/Co; вуглецеві нанотрубки
		Тайвань	10	3	2	Метали Ag і Au; оксиди Ti і Zn
3	Європа й Сполучене Королівство	Німеччина	79	31	5	Метал Ag; оксиди; кераміки, кварц, цеоліти; нанотрубки; діоксид титану
		Франція	17	4	2	Нанотрубки, окис алюмінію
		Сполучене Королівство	63	14	3	Нанотрубки; метали (Al, Cu, Co, Ag, W, Mo); оксиди (Zn, Cu, Zr <sub>2</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) кераміки (Si, AlN); сплави
		Швеція	7	2	1	Колоїдний кварц
		Словакія	1	1	1	Графітні матеріали, нанотрубки
		Бельгія	2	1	1	Нанотрубки
4	Океанія	Австралія	18	9	2	(Zn, Al, Ce)
5	Інші	Ізраїль	22	9	3	Порошки металів і оксидів металів; сплави Ag Ag/Pd Ag/Pt Ag Au Ni Cu Fe Co Ba
		Кіпр	1	1	1	Нанотрубки

Більшу частину від виробництва наноматеріалів становлять вуглецеві нанотрубки, а також металеві й метало-оксидні порошки. На другому місці – змішані металеві оксиди, неоксидні матеріали й силікати. Такі органічні частки, як дендримери, поки займають незначну частину від загального обсягу нановиробництва, хоча в цій галузі ведеться активна робота.

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

У промисловості в основному використовують одинарні або багатостінні вуглецеві нанотрубки. На сьогоднішній день у світі існує всього декілька (не більше 50 компаній-виробників цих нанотрубок, і їхня виробнича здатність становить від декількох десятків грамів до декількох сотень кілограмів вуглецевих нанотрубок на рік. Загальносвітова річна виробнича ємність для одинарних нанотрубок становить 10 – 15 тонн, а для багатостінних нанотрубок – 100 – 120 тонн. Основними виробниками нанотрубок обох типів є США, Китай і Японія.

Цілком зрозуміло, що наноматеріали створюються і реалізуються виробникам кінцевої продукції в усіх індустріальних секторах економіки. У Додатку А табл. А.1 та А.2 наведено приклади використання наноматеріалів, що вже сьогодні знаходяться у комерційному виробництві і представлені на ринку, у чотирьох основних індустріальних секторах [48, с. 68 – 71], а також подано прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах наноіндустрії у період 2009 – 2015 рр. [48, с. 73 – 81].

У табл. 2.8 також наведено сьогоднішнє й майбутнє у застосуванні наночастинок [51, с. 54 – 56].

Таблиця 2.8

### Сьогоднішнє й майбутнє у застосуванні наночастинок

№ з/п	Галузь застосування	У розробці	На ринку	Добре вивчено
1	2	3	4	5
1	Медицина, охорона здоров'я	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанокристалічні ліки для легкого розсмоктування;</li> <li>▪ Інсулін, що вдихається;</li> <li>▪ Наносфери для ліків, що вдихаються;</li> <li>▪ Стимулятори росту кісток;</li> <li>▪ Використання квантових точок для виявлення вірусів;</li> <li>▪ Антиракове лікування;</li> <li>▪ Покриття для імплантів (наприклад, гідроксіапатит)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Креми й лосьйони від засмаги, що використовують Zn і Ti<sub>2</sub>;</li> <li>▪ Молекулярне маркування: квантові точки, CdSe;</li> <li>▪ Засоби доставки ліків з малою розчинністю у воді</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Фунгіцид на основі Zn;</li> <li>▪ Au для біомаркування й виявлення;</li> <li>▪ Агенти контрастного відображення магнітного резонансу, що використовують надпарамагнетичний оксид заліза</li> </ul>
2	Виробництво продуктів харчування	Контрольована доставка гербіцидів і пестицидів	–	Добавки в ґрунт на основі заліза

Продовження табл. 2.8

1	2	3	4	5
3	Охорона навколишнього середовища		<ul style="list-style-type: none"> <li>Алюмінієві волокна для очищення води;</li> <li>Самоочисне скло з використанням нанопокриттів на основі <math>Ti_2</math>;</li> <li>Фотокаталітичні засоби очищення води на основі <math>Ti_2O</math>;</li> <li>Невідбиваючі покриття</li> </ul>	
4	Енергетика	Нікелеві й металеві гідриди для батарей	Екологічно чисті каталізатори, двоокис церію в дизельних двигунах	Каталізатори для двигунів внутрішнього згоряння
5	Матеріали й проектування	<ul style="list-style-type: none"> <li>Матеріали для створення покриттів: WC, Ta Ti, Co;</li> <li>Свічі запалювання на основі нанометалів і керамічних порошоків;</li> <li>Нанопористі кварцеві аерогелеві високоефективні діелектрики;</li> <li>Хімічні датчики;</li> <li>Ультрафільтри</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Зносостійкі покриття на основі Al, Y-Zr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;</li> <li>Укріплені наноглиною полімерні композити;</li> <li>Змазуючі гідравлічні добавки CuMo<sub>2</sub>;</li> <li>Пігменти;</li> <li>Поліпшені покриття, стійкі до подряпин;</li> <li>Самоочисне скло на основі <math>Ti_2</math>;</li> <li>Компоненти ракетного палива на основі Al</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Структурні поліпшення полімерів і композитів;</li> <li>Термічні спресві покриття, основані на <math>Ti_2</math>, Ti-Co та ін.;</li> <li>Чорнила на металевих порошках: такі, що проводять, магнетичні та ін.</li> </ul>
6	Електроніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>Магнітні наночастки для створення запам'ятовуючих пристроїв високої щільності зберігання інформації;</li> <li>Захист від електромагнітних перешкод з використанням провідних і магнітних матеріалів;</li> <li>Електронні схеми на основі Cu, Al;</li> <li>Технології відображення з використанням устроїв автоелектронної емісії на основі провідних оксидів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ферорідини на основі магнітних матеріалів;</li> <li>Оптико-електронні устрої: комутатори на основі кераміки, легованої рідкоземельними елементами;</li> <li>Провідні покриття й тканини на основі кераміки, легованої рідкоземельними елементами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Керуючі мікропроцесори на основі алюмінію й двоокису церію;</li> <li>Покриття й супутні матеріали для волокон на основі Si</li> </ul>
7	Товари широкого вжитку		Пристрої для боротьби з підробками	<ul style="list-style-type: none"> <li>Пакування з використанням силікатів;</li> <li>Змащення для лиж;</li> </ul>



Закінчення табл. 2.8

1	2	3	4	5
				<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Білизна;</li> <li>▪ Скляні покриття для протизасліплюючих дзеркал і таких, що не запотівають, на основі <math>Ti_2</math>;</li> <li>▪ Спортивні товари: тенісні м'ячі й ракетки на основі наноглини;</li> <li>▪ Кахель, покритий алюмінієм і іншими матеріалами;</li> <li>▪ Керамічна сантехніка</li> </ul>

### 2.2.2. Наномедицина і нанобіотехнології

Синтезом нанотехнологій і біотехнологій є **нанобіотехнологія**. Використання принципів, за якими жива природа вибудовує надзвичайно ефективні наноструктури, може виявитися винятково корисним у створенні високоефективних каталізаторів, високоякісних полімерів, мембранних структур з керованою селективною проникністю, нових лікарських засобів і методів діагностики хвороб, наномашин і нанороботів, нанoeлектроніки й багато чого іншого. Із цих причин темпи розвитку *біотехнологій*, темпи інвестування в них, обсягів збуту в цій сфері зростають навіть швидше, ніж у середньому для нанотехнології.

У самому загальному вигляді можна запропонувати таке визначення: *біотехнології* – це сукупність фундаментальних і прикладних досліджень, а також інженерних рішень, спрямованих на використання біологічних об'єктів, систем або процесів у промислових масштабах [39].

На *рис. 2.3* наведено фундаментальні основи і галузі застосування нанобіотехнологій, а у *табл. 2.9* – коротке зведення напрямків розвитку й сфер застосування нанобіотехнології [39, с. 441 – 442].

Найбільш цінною областю застосування нанотехнологій для підвищення якості життя є **медицина**. Застосування біонанотехнологій у цій сфері має широкий спектр: від використання наночастинок інвіво з метою сприяння доставці ліків до місця дії і підвищення якостей контрастної речовини, що використовується при магнітно-ядерному резонансі, до застосування технологій інвітро, таких як проведення біохімічних досліджень за допомогою «лабораторії на одному чипі» [48, с. 53].

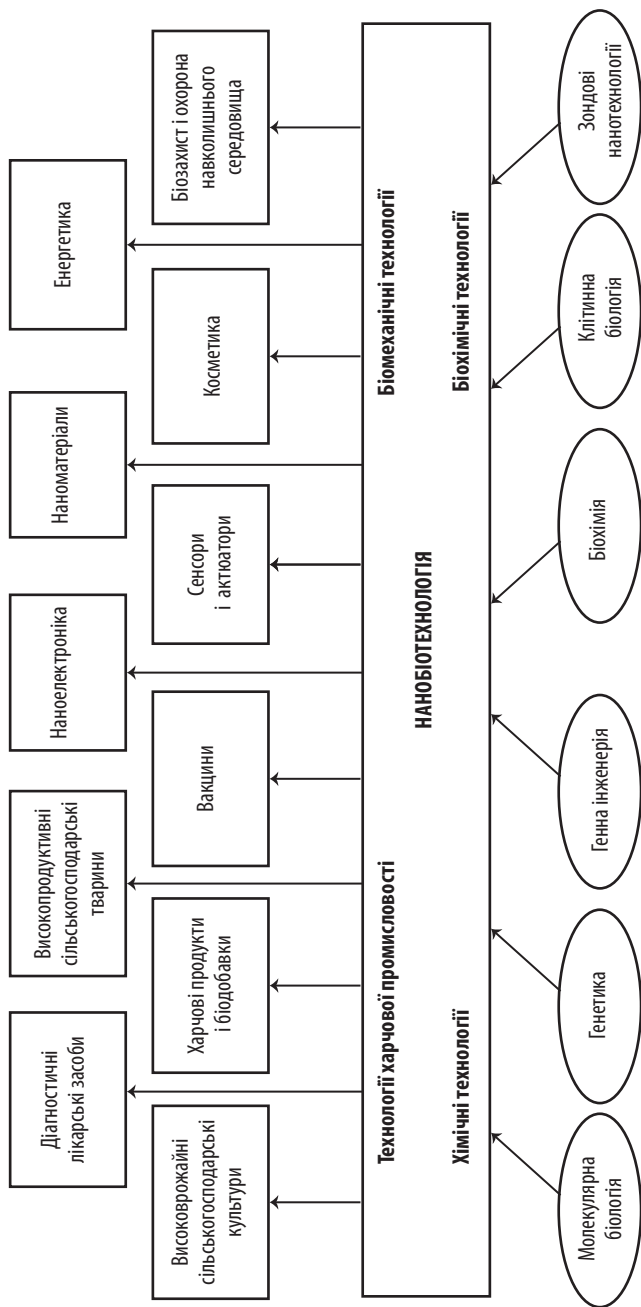


Рис. 2.3. Фундаментальні основи і сфери використання нанобіотехнології

**Основні напрямки розвитку нанобіотехнології**

№ з/п	Галузь	Конкретні приклади
1	Медицина	Доставка лікарських препаратів і генів усередину клітини, використання ферментів і мікроорганізмів при виробництві складних ліків, синтез нових антибіотиків, діагностика й мікро-/нанохірургія, розробка біосумісних поверхонь контакту й матеріалів для протезування й імплантації
2	Генна інженерія	Секверування й модифікація ДНК
3	Сільське господарство	Одержання нових штамів мікроорганізмів, нові методи селекції рослин і тварин (включаючи клонування)
4	Харчова промисловість	Створення нових методів переробки й зберігання харчових продуктів, синтез білка з одноклітинними організмами
5	Хімічна промисловість	Нові ефективні каталізатори, мембранні технології
6	Контроль за навколишнім середовищем	Удосконалення методів тестування й моніторингу, засобів детектування й боротьби з хімічною й біологічною зброєю, технології переробки й утилізації відходів
7	Енергетика	Нові види палива, способи його одержання, зберігання й використання
8	Наноелектроніка	Сенсорика, біочипи, інформаційні технології
9	Матеріалознавство	Вилуження руд, біосинтез, біорозкладання

Одним з найбільш яскравих прикладів застосування нанотехнологій у медицині є система доставки лікарської речовини до місця дії. Вона дозволяє прицільно доставляти ліки у визначені частини тіла пацієнта. Така спрямована лікарська терапія, що називається «розумними ліками», вже довела наявність меншої кількості побічних ефектів і більшу ефективність у порівнянні з традиційними методами терапії, особливо у випадку хіміотерапії.

Оптимальною комбінацією технологій діагностики і доставки лікарських речовин стане пристрій, що імплантується в тіло для постійного відслідкування рівня різних біохімічних речовин у кровотоці і вивільнює певні ліки по мірі необхідності. Наприклад, інсулінозалежні діабетики зможуть використовувати цей пристрій для автономного відслідкування і корегування рівня інсуліну в крові.

В майбутньому нанотехнології також внесуть вклад у створення штучних органів і імплантатів, які будуть дуже схожі на природні органи. За їх допомогою буде покращена біосумісність і знижено відсоток відторгнення. Прикладом таких застосувань будуть очні, слухові і неавральні імплантанти, виправ-

лення ушкоджених нервових клітин і заміна ділянок ушкодженої шкіри, тканин і кісток.

Завдяки розвитку технології «лабораторія на одному чипі», що надає можливість більш швидкого одержання діагнозу, стануть доступними особисті пристрої для контролю за станом здоров'я. Датчики зможуть швидко і точно визначати організацію генетичного матеріалу, збільшуючи знання людей щодо їхньої схильності до спадкових захворювань.

До сектора ринку нанопродуктів «наномедицина і біотехнологія» відносяться лікарські препарати, методи медичних досліджень і прилади для клінічної діагностики, продукти кінцевого споживання (такі як косметичні засоби і харчові добавки), а також продукти харчування і напої, при створенні яких застосовуються наноматеріали і (або) нанотехнології. У табл. 2.10 наведено три основних сегменти ринку відповідно до галузі застосування [48, с. 55].

Таблиця 2.10

**Основні сегменти ринку нанотехнологій у сфері «Медицина і біотехнології»  
відповідно до галузі застосування**

Медицина і біотехнології		
Медичні дослідження, клінічна діагностика, медичні прилади	Фармацевтичні препарати і лікарські сполуки	Продукти кінцевого споживання
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ системи Nano-HPLC (високопродуктивної рідинної хроматографії);</li> <li>▪ біомагнітна сепарація;</li> <li>▪ реагенти трансфекції;</li> <li>▪ наномембрани;</li> <li>▪ наноманіпулятори;</li> <li>▪ замітники кісток;</li> <li>▪ протимікробні перев'язувальні матеріали;</li> <li>▪ спинтронні датчики;</li> <li>▪ леза скальпелів;</li> <li>▪ хірургічні голки;</li> <li>▪ медичний одяг;</li> <li>▪ медичні трубки;</li> <li>▪ протиінфекційні покриття медичних приладів;</li> <li>▪ контрастні препарати для МРТ;</li> <li>▪ скандувальні вимірювальні наконечники мікроскопів;</li> <li>▪ флуоресцентні препарати для оптичного формування зображення</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ доставка лікарських засобів;</li> <li>▪ лікарські сполуки із покращеною розчинністю;</li> <li>▪ ліки від раку, що вкладені в наноліпосоми;</li> <li>▪ гормональна терапія, заснована на нанофосфоліпідах;</li> <li>▪ терапія AMD, заснована на аптамерах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ сонцезахисні засоби і косметичні препарати, що захищають від ультрафіолетового випромінювання;</li> <li>▪ антиоксиданти;</li> <li>▪ харчові добавки;</li> <li>▪ продукти харчування і напої</li> </ul>

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

Застосування нанотехнологій в медичних дослідженнях включає базові або доклінічні дослідження у галузі медицини, кінцева мета яких постає в описі захворювань і розробці нових терапевтичних стратегій.

Вивчаючи проблеми *захисту людини і навколишнього середовища*, слід розглянути як позитивні, так і негативні наслідки впливу нанотехнологій на навколишнє середовище і здоров'я людини [49, с. 346 – 350].

Екологічні проблеми великих міст, перш за все, пов'язані із *промисловим і автотранспортними викидами* (наприклад, сажа посідає перше місце за рівнем токсичності), що забруднюють атмосферу. Ще у 1933 р. А. Чижевський експериментально встановив, що спрямований потік аерофонів вбиває мікроорганізми і осаджує пил із повітря, очищаючи його від основних забруднень. Одержані Чижевським дослідні результати і створений ним прибор зі штучної генерації легких іонів кисню повітря негативної полярності (електроефлювіального аероіонізатора – славнозвісна люстра Чижевського) знайшли використання у сучасній медицині (аероіонотерапія), сільському господарстві, промисловій і побутовій гігієні. На аналогічних принципах сьогодні розробляються пристрої синтезу озону (з розмірами частинок 1,5 нм у коронному електричному розряді) безперервної дії, які використовуються в технологіях поточної очистки і обеззараження рециркуляційного і внутрішнього вентиляційного повітря в системах мікроклімату приміщень для тварин. Ці пристрої дозволяють знизити енерговитрати до 60%, покращити екологію всередині і ззовні будівель тваринницьких ферм і підвищити продуктивність тварин на 10%.

У Каліфорнійському інституті наносистем (California NanoSystems Institute) проведені дослідження синтетичних високопористих цеолітних матеріалів, які селективно відбирають вуглекислий газ із газової суміші і надійно утримують його у своїх багаточисленних порах – 83 л. CO<sub>2</sub> в одному літрі матеріалу. Цеоліти – це велика група близьких за складом і властивостям мінералів – це водні алюмосилікати кальцію і натрію зі скляним або перламутровим виблиском, які становлять нанопористу кристалеву «губку» із загальним об'ємом пор до 50% всього об'єму мінералу, а також мають строго визначений діаметр вхідних отворів (від 0,3 до 1 нм в залежності від виду мінералу) і виступають високоактивними адсорбентами.

Інший штучно створений органічний кристал COF-108 (*covalent organic frameworks, COF*), який містить водень, бор, вуглець і кисень, має саму низьку щільність у світі – всього 0,17 г на см<sup>3</sup> – і може бути використаний як каталітичні мембрани і резервуари для паливних елементів та систем очистки в автомобільній промисловості.

Фільтрувальні і поглинаючі системи вуглекислого газу, створені з таких цеолітних матеріалів для автомобільної техніки і теплових електростанцій, можуть помітно знизити викиди парникових газів в атмосферу, що передбачено Кіотським протоколом.

Крім того, самі *нанотехнології несуть в собі низку реальних і потенційних небезпек для людей*. Так, ще у 2002 р. американська Агенція із захисту навколишнього середовища (ERA), NASA і міжнародна неурядова група із захисту прав людини в технологічну еру (ETC Group) в результаті спільного дослідження заявили, що вдихання вуглецевих нанотрубок, на яке випадково наразилася група астронавтів, призвело до захворювання легенів. Такі вуглецеві трубки дуже схожі за негативною дією на звичайну сажу. Крім цього, наночастинки можуть легко проникати в клітини крізь пори стінок і накопичуватися в органах. Тому при роботі з наноматеріалами рекомендується використовувати спеціальні засоби захисту органів дихання і рук. Враховуючи високу проникну спроможність наночастинок, шкіряні покрови доцільно захищати спеціальними кремами, що створюють буферні шари на поверхні.

Основні напрями **використання нанотехнологій і наноматеріалів в агропромисловому комплексі (АПК)** такі [49, с. 351 – 357]:

- біотехнологія (перш за все, це відноситься до генної інженерії);
- виробництво і переробка продукції АПК;
- очищення води;
- вирішення проблем якості сільськогосподарської продукції;
- охорона навколишнього середовища (зокрема сільськогосподарських угідь).

Однією з найголовніших проблем найближчих десятиліть стане *проблема забезпечення людства достатньою кількістю питної води*. Враховуючи поточні обсяги споживання води, зростання населення і розвиток промисловості, до 2050 р. дві третини населення Землі будуть відчувати нестачу придатної до вживання прісної води. Застосування нанотехнологій, перш за все, для очищення і дезінфекції води дозволить вирішити вказану проблему за рахунок використання дешевої децентралізованої системи очищення і опріснення води, систем відділення забруднюючих речовин на молекулярному рівні і фільтрації нового покоління. Так, наприклад, компанія IBM підписала угоду з урядом Саудівської Аравії щодо відкриття лабораторії «Green nanotech», найважливішим завданням якої буде створення системи очищення води з використанням нових наномембранних матеріалів для зворотнього осмосу і знесолення морської води [48, с. 49].

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

Іншою важливою проблемою є *підвищення врожайності у сільському господарстві*. Незважаючи на протести світової громадськості, у ряді регіонів світу, особливо у зв'язку з великим приростом населення і несприятливими умовами для сільськогосподарських робіт, продовольчу проблему не вдасться вирішити без розробки, створення і виробництва методами біо- і нанотехнологій трансгенних високопродуктивних рослин, що будуть витривалими до вірусної інфекції.

Передбачається, що застосування нанотехнологій дозволить змінити техніку оброки земель за рахунок використання наносенсорів, нанопестицидів і системи децентралізованого очищення води. Нанотехнології зроблять можливим лікування рослин на генному рівні, дозволять створити високоврожайні сорти, які будуть особливо стійкими до несприятливих екологічних умов.

У *рослинництві* застосування нанопорошків, суміщених з антибактеріальними компонентами, забезпечує підвищення стійкості до несприятливих погодних умов і призводить до двократного підвищення врожайності багатьох продовольчих культур, наприклад, картофелю, зернових, овочевих і плодово-ягідних культур. Цеолітні матеріали можуть успішно застосовуватись у складі добрив для забезпечення більш подовженої дії (ефект пролонгації), запобігання вимивання поживних речовин після внесення, як носії пестицидів, для оптимізації кислотності ґрунтів, а також для запобігання злежування мінеральних добрив у процесі зберігання. Можуть бути одержані нові типи нанотехнологічних препаратів для боротьби з фітопатогенними бактеріями на основі використання нових мікроорганізмів – хижих нанобактерій, свого роду «живих антибіотиків» для рослин. Нанотехнології можуть також успішно застосовуватися для оптичного розшифрування білково-ліпідно-вітамінно-хлорофільного комплексу у рослинництві, а також для зниження шкідливого впливу автотракторного парку на природне середовище.

У *тваринництві* нанотехнології можуть використовуватися для створення біосумісних матеріалів, перестройки і розбудови тканин, створення штучних тканин, що не відторгаються організмом, і сенсорів (молекулярно-клітинна організація). Нанодобавки знаходять широке застосування у виробництві кормів, де забезпечують підвищення продуктивності тварин в 1,5 – 3 рази, а також сприяють їх опору інфекційним хворобам і стресам. Нанорозмір кормових добавок дозволяє не тільки значно знизити їх витрати, але й забезпечити більш повне і ефективне засвоєння тваринами.

Ще один важливий напрямок нанотехнологічних робіт у сільському господарстві – дослідження в області *біонанотехнологій*. До них відносяться роботи зі спрямованого білкового синтезу для одержання пептидів із бажаними імунотенними властивостями. Сьогодні створюються векторні системи для клону-



вання імунологічно значущих білків-збудників особливо небезпечних хвороб тварин, а також вакцин нового покоління, що мають високу активність і безпечність. Активно проводяться дослідження з одержання наночастинок генно-інженерних протеїнів, розробки біотипів і тест-систем для біологічного скринінгу, імунологічного моніторингу і прогнозування небезпечних і економічно значущих інфекційних захворювань тварин. Впровадження мембранних систем очищення, а також біоцидних покриттів і матеріалів на основі срібла буде сприяти спрощенню і підвищенню рівня утримання сільськогосподарських тварин, забезпеченню їх якісною питною водою. Ведуться роботи з розробки нанобіотехнологічних методів виявлення маркерів, зціплених із господарсько-цінними ознаками, вірусними, бактеріальними і паразитарними захворюваннями риб та їх можливому застосуванню у практиці рибоводства.

Сьогодні харчовими компаніями проводяться інтенсивні дослідження у галузі нанобіотехнологій функціональних харчових добавок і речовин із застосуванням методів ультра- і нанофільтрації, нанокапсулювання, дезінтеграції, а також використанням спрямованої ферментативної модифікації нанобіоструктур (наприклад, сирів, йогуртів тощо). Харчові компанії все частіше використовують у продовольчих товарах (продукти харчування, напої, жувальна гума) біологічні наночастинки розмірами в декілька сотень атомів. Наприклад, нанометровий шар діоксиду титану, що нанесено на шоколадний батончик Mars, збільшує термін його зберігання у кілька разів. Фактично виходить продукт, який упакований в оболонку (нанофольгу) з діоксиду титану. При цьому сам нанометрів оксид титану також спроможний засвоюватися організмом. В той же час, як і для нанокосметики, ступінь безпеки широкого застосування нанотехнологічних добавок поки ще однозначно не встановлено.

Нідерландська фірма Friesland Foods – один з найбільших у світі виробників сирів – розробляє технології застосування нанорозмірних сит, що більш прийнятні з точки зору безпеки кінцевого продукту. Ціль цих робіт – високо-ефективне розділення (сепарація) молока на протеїни, полісахариди і молекули жирних кислот. Вже в недалекому майбутньому нанотехнологічні добавки, спроможні змінювати смак і поживні якості продуктів, стануть обов'язковим компонентом багатьох харчових продуктів.

### 2.2.3. Нова енергетика

У центрі досліджень, проведених вченими в **енергетичній сфері**, сьогодні постають проблеми генерування (перетворення, виробництва) енергії, її нагромадження, передачі, а також збереження. До основних галузей використання нанотехнологій в енергетиці відносять [48]:



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

- виробництво синтетичного вуглеводневого палива;
- перетворення сонячної енергії;
- виробництво етанолу;
- переробка нафтопродуктів;
- паливні елементи;
- батареї та інші акумулятори енергії;
- перенесення і розподіл енергії;
- виробництво водню;
- світлодіоди.

У табл. 2.11 наведено короткий опис основних сегментів сектора ринку нанотехнологій та їх продуктів у сфері «Енергетика» [48, с. 52].

Таблиця 2.11

### Основні сегменти ринку нанотехнологій у сфері «Енергетика» відповідно до галузі застосування

Енергетика				
Паливні елементи	Переробка нафтопродуктів	Перетворення сонячної енергії	Перенесення і розподіл енергії	Інші сегменти ринку
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ паливні елементи на твердих оксидах SOFC;</li> <li>▪ паливні елементи на нанорогах;</li> <li>▪ нанорозмірні тонкі плівки для PAFC і PEMFC;</li> <li>▪ полімерні мембрани для PEMFC і DMFC;</li> <li>▪ нанокомпозити для PEMFC і DMFC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ флюїдний крекінг;</li> <li>▪ гідроочищення;</li> <li>▪ підвищення сортності важкої нафти;</li> <li>▪ наноприлади, що використовуються у нафтопереробці;</li> <li>▪ інші процеси переробки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ сенсibiliзовані барвниками сонячні елементи (DFFC);</li> <li>▪ сонячні елементи на квантових точках;</li> <li>▪ гібридні метало-органічні сонячні елементи;</li> <li>▪ сонячні елементи на полімерах, активованих вуглецевими фулеренами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ криогенні трубопроводи і резервуари;</li> <li>▪ трансформатори;</li> <li>▪ наноприлади, що використовуються у перенесенні і розподілі енергії</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виробництво синтетичного вуглеводневого палива;</li> <li>2. Виробництво водню;</li> <li>3. Виробництво етанолу;</li> <li>4. Світлодіоди;</li> <li>5. Батареї та інші акумулятори енергії</li> </ol>

Найбільш перспективними напрямками у сфері перетворення й генерації енергії є *фотовольтаїки* (сонячні елементи), *перетворення водню* (паливні елементи), *термоелектрика* (термоелектричні устрої), удосконалювання *вуглеводної енергетики* (каталізатори, добавки). За даними *The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses 2006*, тільки дешева **сонячна енергетика** включена міжнародними експертами в перелік 16 найперспективніших технологій 2020 р.

У табл. 2.12 перераховано деякі найбільш відомі світові нанотехнологічні розробки для фотовольтаїки, спрямовані на вирішення проблем створення й удосконалювання нових високоефективних матеріалів і нових устроїв, зниження вартості сонячних батарей і підвищення їх ККД [49, с. 188 – 190].

Таблиця 2.12

**Світові нанотехнологічні розробки для фотовольтаїки**

№ з/п	Найменування	Основні наноматеріали	Позитивний ефект
1	2	3	4
1	Гнучкі органічні сонячні батареї	Фулерени ( $C_{60}$ ) і гетеро-структури $C_{60}$ / p-Si	Висока поглинальна здібність у короткохвильовій області сонячного спектру
2	Сонячні батареї	Неорганічні й органічні матеріали з наночаровою та кластерно-фрактальною структурою	Накопичення й енергоперенесення
3	Органічні фотоелементи сонячних батарей	Полімерно-фулеренові наноструктури	Транспорт носіїв заряду здійснюється мережею нанокристалів і органічних молекул
4	Сонячні батареї	Квантові точки	Поліпшення ККД до 42% (теоретично – до 86%) за рахунок генерації трьох електронів на один падаючий фотон
5	Багатошарові гетероструктури: ▪ InGaAs/AlGaAs, InAs/InGaSb; ▪ GeSi	Квантові ями; квантові точки	Промислова технологія виробництва фотоприймальних модулів ІЧ-діапазону
6	Мультикаскадні фотоелектричні перетворювачі	Наногетероструктури	ККД до 35% при 1000-кратному концентруванні наземного сонячного випромінювання (у два рази дешевше існуючих) для концентраторних енергоустановок
7	Сонячні батареї	Керамічні наноматеріали з шарів діоксиду титану й кремнію товщиною 50 – 100 нм кожний	На третину підвищують вироблення електроенергії без збільшення площі сонячних елементів
8	Сонячні батареї	Металеві наноматеріали (Ag, Cu, Co, Mn, Mg, Zn, Mo, Fe), їхні оксиди й гідроксиди	Дешевизна батарей, використання фізичних явищ у цих матеріалах
9	Тривимірні сонячні елементи	Вуглецеві нанотрубки	Підвищення коефіцієнту поглинання сонячної енергії кремнієвими батареями з 67,4% до 96,21%
10	Сонячні батареї	Решітки нанопанелі діаметром 2 – 4 мкм	Перетворення на електрику 92% світлової енергії (проти 80% існуючих). Працюють уночі за рахунок утилізації ІЧ-діапазону (тепла Землі, електронних і інших джерел)

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Закінчення табл. 2.12

1	2	3	4
11	Сонячні батареї	Полікристалічний кремній (c-Si), високочисті кремнійотримуючі матеріали	Пристрої для мікроелектроніки й фотоелементи
12	Сонячні елементи	Аморфний кремній (a-Si)	Зменшення товщини сонячних батарей при підвищенні ефективності більше 10%
13	Аерогелі	Об'єднані в кластери наночастки (до 5 нм) із порожнинами (до 100 нм), що займають до 99% об'єму	Для сонячних колекторів, мають необхідну механічну міцність
14	Сонячні джерела енергії	Наноструктури, сенсibilізовані спеціальним поглинаючим фарбником	Потенціал недорогого виробництва

У сфері **розподілу, передачі, акумулювання й зберігання енергії** найбільш перспективними можливостями застосування наноматеріалів і нанотехнологій є високоефективні провідні системи (дроти, трансформатори й інші устрої), а також акумулятори, що перезаряджаються, і суперконденсатори.

Однією з задач нанотехнологій є розробка наноструктурних електротехнічних дротів нового класу для різних ліній електропередач із надвисокою міцністю (на рівні сталі 1200 – 1500 МПа) і електропровідністю (на рівні 60 – 75% від електропровідності чистої міді) з нанометричним рівнем дисперсності мікроструктури. До таких розробок відносять наноконпозиційні електричні дроти з високою міцністю і електропровідністю, що складаються з волокон срібла, які розподілені в матриці міді, а також надміцні високопровідні кабелі на основі інтерметалідів.

Ще однією задачею є розробка і виробництво спеціальних матеріалів, що проводять, для радіоелектронної техніки і майбутніх нанометричних пристроїв. До таких розробок відносяться: нанопроволока на основі окису індію; ультратонкі дроти на основі частинок золота; наноструктурні композиційні надпровідники NbTi з низькими енергетичними витратами у магнітних полях, що швидко змінюються, для магнітних систем синхротронів SIS-100 і SIS-300 міжнародного проекту FAIR; термпарна проволока для високочутливих вимірювань температури на основі наноструктурованого сплаву нікелю тощо.

При розробці нових конструкцій акумуляторних батарей і суперконденсаторів очікується, що наноматеріали матимуть вирішальне значення при розв'язанні таких основних задач [49]:

- збільшення щільності енергії і потужності, в тому числі для класичних батарей;

- покращення показників тривалості й ефективності циклу перезарядження батарей;
- підвищення загального терміну служби (циклів «заряд – розрядження»);
- зниження токсичності матеріалів, що застосовуються;
- зниження вибухонебезпечності і пожаронебезпечності.

Батареї на основі нанопроволок, про які стало відомо у 2007 р., призвели до значного зменшення розмірів, значного збільшення щільності енергії і потужності, продовженню терміну служби і дуже скоро можуть замінити літій-іонні батареї, що використовуються в ноутбуках, стільникових телефонах та інших електронних пристроях. Так, вже сьогодні вчені інституту м. Тулса (США) винайшли батареї розміром 1 мкм, які чудово підійдуть до живлення крихітних роботів. У наукових інститутах розвинених країн проходять фінальні стадії експериментів зі створення вуглецевих електродів на основі одностінних наноріжків (особливого різновиду нанотрубок) для метанолових паливних елементів, здатних забезпечувати десятки годин безперервної роботи мобільних нанопристроїв [2, с. 260].

В **енергозбереженні** найбільш значущі й високоефективні сфери застосування нанотехнологій відкриваються при виробництві матеріалів і устроїв для поліпшення теплоізоляції (аерогелі, «розумне» скло), більш ефективного й економічного освітлення (світлодіоди на основі полімерної органіки OLED), використання традиційного вуглеводного палива (каталізатори), а також при створенні більш легких матеріалів у машинобудуванні й транспорті.

Головне призначення теплоізоляції – зниження швидкості теплопередачі (фактично тепловитрат) внаслідок теплопровідності, конвекції і теплового випромінювання, а також будь-якої комбінації цих енергетичних процесів. Зменшення тепловитрат можна здійснити двома способами: застосуванням вископористого матеріалу, що утримує газообразні речовини (повітря або інше середовище) і попереджає конвекцію; використанням покриттів для видбиття випромінювання різного походження (в основному, інфрачервоного спектру) як іззовні, так і всередині приміщень. Сьогодні розроблені нові прозорі аерогелі, які можна застосовувати як світлопроникальний і одночасно ізоляційний матеріал для покриттів у сонячних колекторах. Наприклад, аероскло (нанокомпозитні кремнієві аерогелі) має низьку провідність, низьку щільність твердих часток і високу діелектричну проникність, що робить їх одним з найкращих світлопроникальних ізоляційних матеріалів.

Крім того, для підвищення енергозбереження можна використовувати «розумне застосування» приміщень, спроможне реагувати на зміни у освітленні і

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

температурі навколишнього середовища відповідною зміною прозорості і теплопровідності.

Значну економію електричної енергії може дати тотальний перехід на газорозрядні лампи денного світла, особливо на світлодіодну техніку. Інтерес представляють розробки органічних світлодіодів OLED, які засновані на різних формах зеленого флуоресцентного білку (GFD). У перспективі GFD можуть бути використані при створенні моніторів, телевізорів, різних дисплеїв тощо, що повністю безпечні для навколишнього середовища і потребують зовсім незначної кількості енергії.

### 2.2.4. Наноелектроніка та інформаційні технології

Дуже яскраво проявляються практичні результати нанотехнології в галузі **електроніки та інформаційних технологій**, які використовуються [48, с. 56]:

- як сировина для виробництва різних пристроїв і компонентів (53%);
- як матеріал для обробки напівпровідникових пластин (34%)
- для створення інструментів і обладнання при виробництві електронних пристроїв і компонентів (7%);
- інше (6%).

У *табл. 2.13* наведено основні показники, що характеризують світовий ринок електронної промисловості [49, с. 209 – 211].

Таблиця 2.13

#### Показники, що характеризують світовий ринок електроніки

№ з/п	Галузь	Обсяг ринку, трлн дол. США
1	Галузі промисловості, пов'язані з електронікою	15,0
2	Електронне устаткування	Більше 1,0
3	Напівпровідникові компоненти	0,205
4	Напівпровідникове виробниче устаткування	0,03
5	Матеріали для виробництва напівпровідників	0,02

При цьому середньорічні темпи зростання ринку електронної промисловості й пов'язаних з нею інших галузей становлять більше 7% на рік.

Найбільш реально очікуване й найефективніше практичне застосування нанотехнології повинні одержати в галузі *нанозапису й зберігання інформації*, оскільки комп'ютерна пам'ять заснована на тому, що біт (одиниця інформації)

задається станом середовища (магнітного, електричного, оптичного), у якій записується інформація. На поверхні можна реалізувати ситуацію, при якій 1 біт буде записаний у вигляді скупчення, наприклад, 100 або 10 атомів. Внаслідок дії різних факторів (геометричних і фізичних) разом зі зменшенням розмірів (підвищенням компактності) пристроїв значно зменшується й тривалість протікання різноманітних процесів у конкретній системі, тобто зростає її потенційна швидкодія (у сучасних комп'ютерах швидкодія становить близько 1нс, а при застосуванні ряду наноструктур відкривається потенційна можливість скорочення часу на кілька порядків!). При подальшому скороченні розмірів у повожденні електронів починають переважати властивості хвилі, а не частки. Вступають у дію закони квантової динаміки, на зміну бітам приходять квантові біти.

Існує кілька виправданих комерційних причин, що змушують усе більше зменшувати геометричні розміри пристроїв, що наведено у *табл. 2.14* [53, с. 12 – 14].

Таблиця 2.14

**Комерційні причини, що змушують зменшувати розміри устроїв**

№ з/п	Спосіб	Вигода для виробника
1	Зменшення розмірів транзисторів	Задана кількість транзисторів може розміститися на меншій площі, що дає можливість скоротити фізичні розміри чипа. Як наслідок, з однієї підкладки може бути зроблено більшу кількість чипів за умови одночасного формування всіх чипів на підкладці. Це веде до збільшення прибутку компаній, що випускають напівпровідникові пристрої
2	Розміщення на одному чипі такого ж самого розміру більшої кількості транзисторів	При цьому на кристалі такого ж розміру, як і раніше, виробник може розмістити більшу кількість вузлів різної функціональності, що дозволяє виготовляти більш складні інформаційні системи (ІС) і продавати їх за більш високою ціною
3	Використання підкладок більшої площі	Чим більше діаметр підкладки (2002 р.– 6 дюймів, 2006 р.– 8 дюймів, 2009 р.– 12 дюймів, 2012 р.– 18 дюймів), тим дорожче їхня обробка, що пов'язане з необхідністю розробки або модифікації устаткування й більшою якістю хімікатів для обробки. Однак такий перехід на підкладки більшого діаметру дає можливість виробникам підвищувати свій дохід, дозволяючи значно збільшувати випуск напівпровідникових пристроїв

Ці фактори змушують виробників напівпровідникових пристроїв інвестувати значні кошти в розробку нових технологій і вдосконалювання виробничого устаткування, що дає можливість переходити від одного покоління ІС до іншого кожні 2 – 3 роки. І, як наслідок цього, за останні сорок років відбулося різке зниження собівартості кожного окремого транзистора у складі моноліт-

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

ного чипа: якщо в 1968 р. він коштував приблизно 2 дол. США, то в 2008 р. – уже менше нанодолара! У табл. 2.15 наведено Міжнародний сітковий графік технології напівпровідників (ITRS), довідкового документу, розробленого спільними зусиллями вчених різних країн, де представлено п'ятнадцятирічні перспективи розвитку напівпровідникової промисловості [53, с. 12].

Таблиця 2.15

### Міжнародний сітковий графік технології напівпровідників (ITRS)

Рік виробництва	2001	2004	2007	2010	2013	2016
Розмір технологічного вузла, нм	130	90	65	45	32	22
Енергія на одне перемикання, фемтоДж	н. д.	0,137		0,015	0,007	0,002

Нанотехнології в електроніці – це й нові, ще більш швидкісні й надійніші методи обробки, передачі і зберігання інформації як на основі квантових ефектів (спінтроніка, фотоніка, плазмоніка, квантові обчислення), так і на основі нових технологій (самозбирання в його різноманітних реалізаціях, молекулоніка (молекулярна електроніка), активні й пасивні елементи (транзистори, катоди, міжз'єднання) наноелектроніки, пристрої для зберігання інформації, а також на основі нанопродуктів (оптоелектроніка, органічна оптоелектроніка, міжз'єднання тощо).

*Еволюційна наноелектроніка* дозволить і в подальшому звільнити розумову і фізичну працю від рутини і обіцяє нові можливості для індустрії відпочинку. *А революційна наноелектроніка*, що заснована як на збиранні структур «знизу вверх», так і на новітніх, таких, які ще не використовуються, принципах обробки інформації (квантові комп'ютери, фотоніка тощо), виведе комп'ютеризацію світу на якісну нову ступінь, яку можна порівняти зі зміною арифмометрів на обчислювальні машини [48, с. 56].

За прогнозом американської наукової інноваційної мережі *Nanotechnology News Network*, до 2040 р. очікується такі тенденції розвитку комп'ютерної техніки й електроніки на основі *нанотехнологій* (див. табл. 2.16) [40].

З урахуванням наведених пріоритетів усі застосування нанотехнологій до сектора «Електроніка і інформаційні технології» можна згрупувати у чотири сегменти, які подано у табл. 2.17 [48, с. 57].

Таблиця 2.16

**Прогноз розвитку комп'ютерної техніки і електроніки на основі нанотехнологій до 2040 р.**

Наступне десятиліття (2010 – 2020 рр.)	Недалеке майбутнє (2030 – 2040 рр.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ДНК-комп'ютери;</li> <li>▪ мініатюризація електронних компонентів;</li> <li>▪ бездротові комунікації;</li> <li>▪ глобальні мережі;</li> <li>▪ перетворювачі енергії;</li> <li>▪ засоби візуалізації;</li> <li>▪ побутові мікрокомп'ютери, що вбудовуються;</li> <li>▪ наносенсори;</li> <li>▪ НЕМС-електроніка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанороботи, що самореплікуються;</li> <li>▪ адаптивна електроніка;</li> <li>▪ штучний інтелект;</li> <li>▪ надшвидкодійні системи;</li> <li>▪ механокомп'ютери, засоби об'ємного зберігання даних</li> </ul>

Таблиця 2.17

**Основні сегменти ринку нанотехнологій у сфері «Електроніка і інформаційні технології» відповідно до галузі застосування**

Магнітні матеріали	Оптоелектроніка	Електроніка	Нанотехнологічні інструменти для електроніки
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ магніторідинне ущільнення;</li> <li>▪ магнітні запам'ятовуючі пристрої;</li> <li>▪ магнітні нанокompозити</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ виробництво оптичних волокон;</li> <li>▪ нанолімінофори для світлодіодів та вдосконалених дисплеїв;</li> <li>▪ квантові оптичні пристрої;</li> <li>▪ плазмоніка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ хіміко-механічна планаризація (ХМП);</li> <li>▪ багатощарові керамічні конденсатори;</li> <li>▪ атомно-пошарове осадження;</li> <li>▪ квантові обчислення</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноманіпулятори;</li> <li>▪ ближчепольові оптичні мікроскопи;</li> <li>▪ інструменти для обробки наночастинок</li> <li>▪ вдосконалені інструменти для нанолітографії</li> </ul>

Наведемо декілька прикладів використання нанотехнологій в електроніці (у період 2001 – 2006 рр.) [54, с. 179 – 199]:

- 1) Компанія ІВМ створила *наноінвертор*, який при розміщенні нанотрубки між двома електродами підсилює електричний сигнал і здатен «перекидати» вихідну напругу на вхід. Подальший розвиток цієї ідеї може привести до виключно малих за розмірами обчислювальних і комунікаційних пристроїв, що споживають надзвичайно малу кількість енергії;
- 2) Групі вчених з лабораторії Белла компанії Lucent Technologies вдалося створити *електричний ланцюг з транзисторів*, які були одержані в результаті *хімічного самозбирання* органічних молекул;



- 3) Повідомляється також, що для вимірювання переміщень на рівні тисячних часток нанометру було розроблено *одноелектронний транзистор* – перемикаючий пристрій, здатний сполучати або роз'єднувати електричні ланцюги за рахунок управління рухом тільки одного електрона. В існуючих транзисторах таке перемикання відповідає управлінню сумісним рухом сотень тисяч електронів, тому перехід до одноелектронних перемикачів приведе до різкого зниження енергоспоживання і, відповідно, тепловиділення;
- 4) Головною метою розробників комп'ютерної техніки є збільшення кількості перемикачів на чипі. Створення мініатюрних і надзвичайно складних систем підвладне багатьом дефектам розташування окремих атомів і цілих груп атомів, які спроможні порушити функціонування електричного ланцюга. Для підвищення надійності електричних наносистем розробляються зовсім нові архітектури. Наприклад, створення *решіток з перехресними рядами нанопроводів* (товщиною всього 100 атомів!) дозволяє утворити мережу молекулярних перемикачів (наприклад, комбінацій молекул з архітектурою *ротаксан*, яка дозволяє створювати дуже стійкі до збоїв процесори) у місцях перехрещення нанопроводів. При достатньо сильному напруженні місце перехрещення переходить із непровідного стану в провідний. За оцінками фахівців, на одному квадратному сантиметрі чипу можна розмістити  $10^{12}$  таких елементів, а швидкість переключення таких пристроїв повинна бути в 100 разів вищою за найсучасніші покоління чипів Intel;
- 5) На основі трьох вуглецевих нанотрубок вчені з Великобританії і Південної Кореї створили *наноперемикач* з регульованою чутливістю. При поданні електричного потенціалу на крайню нанотрубку середня нанотрубка відхиляється у бік крайньої зі створенням контакту;
- 6) Групі вчених із США за допомогою унікальної кристалєвої структури вуглецевої нанотрубки вдалося *передати тепло дискретними порціями* (тепло переноситься фононами *без розсіяння* (!) на відстань біля мікрону), що відкриває широкі перспективи для охолодження наноелектроніки;
- 7) Вуглецеві нанотрубки мають багато переваг, зокрема більш швидкий рух носіїв заряду, ніж у кремнії; вони можуть мати розмір у 5 разів менше, ніж мінімальний розмір кремнієвих елементів електросхем. Але створення електричних ланцюгів на їх основі дуже ускладнено внаслідок розподілу одержаних нанотрубок в хаотичному порядку. Вчені з Університету Південної Каліфорнії підібрали *підкладку для нанотрубок*, на якій вони могли *самостійно упорядкуватися* (до 40 нанотрубок на мікрон). Ця технологія дозволяє створювати гнучку електроніку, чутливі сенсори тощо;

- 8) Французькі та англійські вчені створили *нанокатод* на основі впорядкованого масиву вуглецевих нанотрубок, який спроможний працювати при частотах 32 ГГц. Такі катоди спроможні працювати в «холодному» режимі (без нагріву); миттєво вклячатись; функціонувати при значно більших частотах і щільності струму, ніж існуючі термоелектронні катоди, мають значно меншу вагу. Вони можуть ідеально замінити існуючі катоди у мікрохвильових телекомунікаційних пристроях на космічних супутниках;
- 9) Компанія mPhase (США) разом з підрозділом Bell Labs компанії Lucent-Alcatel запропонувала абсолютно новий спосіб створення *резервних батарей* (які більшу частину часу неактивні і використовуються в аварійних ситуаціях з гарантованим повним зарядом) *на основі так званої «нанотрави»* (тобто регулярним розташуванням нановолокон на площині) з використанням ефекту контрольованого змочування нановолокон при підвищенні напруги. Можуть економічно застосовуватися в операційних залах, для короткочасної передачі сигналів від активізованих сенсорів, для систем тривожного оповіщення;
- 10) Вчені з Сибірського відділення РАН (Росія) навчилися *регулювати ступінь закручення двошарових наноплівочок* (один шар з кремнію, другий – суміш германію з кремнієм) за рахунок стоншення шарів з утворенням химерних форм (багатовиткові трубки, спіралі, клешні, візерунки тощо), які скоро будуть мати надзвичайне значення для створення наносенсорів, наноконденсаторів, нанокотушок тощо. Цей спосіб одержав назву «мікроорігами», тобто самозбирання трьохмірних мікроскопічних структур на основі механічної напруги, що викликана незбігом кристалевих решіток зчеплених разом надтонких плівок. Створені на цьому принципі химерні структури утворюють основу для багатьох безпрецедентних мікроелектронних пристроїв, включаючи мікродзеркала в бездротових телекомунікаційних з'єднаннях;
- 11) Вчені прагнуть використати високу міцність і пружність вуглецевих нанотрубок. Нещодавно винайдено оригінальний спосіб використання відносного ковзання з низьким тертям для різних шарів багатошарових нанотрубок, як в телескопічній антені телевізора. Було створено *телескопічний наноперемикач*, що контролюється електричною напругою;
- 12) Для створення *оптичної інтегрованої обчислювальної комунікаційної і сенсорної нанотехніки* необхідно навчитися маніпулювати оптичними сигналами в структурах з розмірами значно менше довжини хвилі світла. Вчені навчилися створювати *наносвітловоди*, тобто напівпровідящі

нановолокна циліндричної форми, які можуть вловлювати і передавати ультрафіолетове і видиме світло. На базі цих наносвітловодів вдалося також створити перші прототипи наномасштабних оптичних елементів. Завдання майбутніх досліджень – створити нановолоконну оптичну обчислювальну схему;

- 13) У 2006 р. група вчених з Університету Нотр-Дам (США) і Мюнхенського технологічного університету (Німеччина) запропонувала альтернативний шлях розвитку електроніки без транзисторів (!). На основі квантових точок було створено прототип *магнітного кліткового автомату* з масиву магнітних наноструктур, який спроможний переключатись і виконувати обчислення в залежності від стану спинів сусідніх наноструктурних елементів. Таким чином, крім відомих важливих переваг *спінтроніки* (зберігання даних при відключенні живлення, відсутність витоку струму, принципово висока щільність елементів), було продемонстровано й нові: можливість на протязі кількох наносекунд адаптувати архітектуру процесора для оптимального виконання конкретного завдання, відсутність витрат енергії і нагріву процесора. З'явилась можливість створити фундаментальні основи *повністю магнітних обчислювальних пристроїв*, в яких наномасштабними і магнітними будуть не тільки носії пам'яті, але й обчислювальні елементи.

### 2.2.5 Нанорозмірні системи і пристрої

**Мікросистемна техніка (МСТ)** – один із міждисциплінарних науково-технічних напрямків, що найбільш динамічно розвиваються на цей час і визначають нову революцію в галузі систем, реалізованих на мікрорівні. Метою цього напрямку є створення в обмеженому обсязі твердого тіла або на його поверхні мікросистем, що становлять впорядковані композиції областей із заданим складом, структурою й геометрією, статична або динамічна сукупність яких забезпечує реалізацію процесів генерації, перетворення, передачі енергії й руху в інтеграції із процесами сприйняття, обробки, трансляції та зберігання інформації при виконанні запрограмованих операцій і дій у необхідних умовах експлуатації із заданими функціональними, енергетичними, часовими й показниками надійності [55, с. 62]. Прикладами традиційних виробів МСТ можуть бути: голівки для накопичувачів на жорстких дисках і для струминних принтерів, кардіопейсмейкери, «інвітро» діагностичні прилади, слухові апарати, датчики тиску, хімічні сенсори, акселерометри, гіроскопи, мікроспектрометри й т. ін.

Ініціюючим фактором у розвитку МСТ стала поява мікроелектромеханічних систем (*MEMS – microelectromechanical systems*), у яких гальванічні зв'язки

перебувають у тісній взаємодії з механічними, а також *наноелектромеханічних систем* (NEMS – nanoelectromechanical systems), при виробництві яких використовуються обидві технологічні парадигми «з більшого – менше» і «з малого – велике» (при цьому значною мірою ґрунтуються на нанохімії). Приклади NEMS: мікроантителивери з інтегрованим гострим наконечником нанометрового розміру для скануючої тунельної й атомносилової мікроскопії (СТМ і АСМ); DPN-літографія для розміщення молекул; нанодроту; біологічні (на основі ДНК) мотори; біосенсори; молекулярні приводи, засновані на приєднанні молекули бензолу до зовнішніх стінок вуглецевих нанотрубок; прилади на плівках нанометрової товщини (наприклад, магнітні голівки для читання або магнітні носії й ін.) [56, с. 40 – 41].

Найбільш яскравими конструктивно-технологічними відмінними особливостями МСТ нового покоління є:

- активне використання третього виміру (3D-системи);
- інтеграція електричних і оптичних зв'язків з механічними;
- інтеграція фізико-хімічних і технологічних базисів мікро- і біотехнології;
- інтеграція виконавчо-технологічних і контрольо-діагностичних процедур у мікрооб'ємах і на поверхні твердого тіла.

Структуру напрямку МСТ за класами об'єктів наведено у *табл. 2.18*; структура і динаміка ринку «перспективних» виробів МСТ, що використовують досягнення нанотехнологій, подані у *табл. 2.19*, а мікросистеми нового покоління – у *табл. 2.20* [55, с. 63 – 66].

Таблиця 2.18

**Структура напрямку МСТ за класами об'єктів**

№ з/п	Клас об'єктів МСТ	Напрямки розробок
1	Мікроелектромеханічні машини і системи	Мікромеханізми, мікропривід, мікродвигуни
2	Оптомеханічні мікросистеми	Мікрооптика, оптомеханічні інтегральні схеми
3	Біотехнічні мікросистеми	Мініатюрні автономні системи для діагностики організму і заміщення органів
4	Мікросистеми енергозабезпечення	Автономні мініатюрні джерела енергії, мікротурбіни, мікросистеми рекуперації енергії
5	Сенсорні мікросистеми	Мультисенсори, інтелектуальні сенсори, сенсори із зворотнім зв'язком
6	Мікроаналітичні системи	Мініатюрні аналітичні прилади
7	Технологічні мікросистеми	Мікрореактори, мікроінструмент, мікрорегулятори, мікронасоси
8	Міні- і мікроробототехнічні системи	Автономні багатофункціональні діагностичні і технологічні мінісистеми для спеціальних умов експлуатації

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Таблиця 2.19

### Структура й динаміка ринку виробів МСТ, що використовують нанотехнології

№ з/п	Вироби	Обсяг ринку в 1996 р.		Обсяг ринку в 2002 р.	
		млн шт.	млн дол.	млн шт.	млн дол.
1	Системи подачі лікарських засобів	1	10	100	1000
2	Оптичні перемикачі	1	50	40	1000
3	Лабораторія на чипі: ДНК, рідинна хроматографія високого дозволу	0	0	100	1000
4	Магнітооптичні голівки	0,01	1	100	500
5	Проекційні світлові затвори	0,1	10	1	ЕСО
6	Котушки індуктивності на чипі	20	10	600	100
7	Мікрореле	–	0,1	50	100
8	Мікроелектродвигуни	0,1	5	2	80
9	Інклінометри (кутоміри)	1	10	20	70
10	Впорскуючі сопла	10	10	30	30
11	Сенсори для попередження зіткнення	0,01	0,5	2	20
12	Електронні насоси	0,001	0,1	0,05	5
Усього:		107		4200	

Таблиця 2.20

### Мікросистеми для техніки нового покоління

№ з/п	Напрямок розробок	Призначення	
		загальногромадянське	спеціальне
1	2	3	4
1	Сенсори й трансд'ютери	Мініатюрні системи орієнтації, навігації й керування	
		Автомобільний і залізнично-дорожній транспорт	Аерокосмічні й ракетно-артилерійські системи
		Акселерометри, мініатюрні автономні системи навігації, сполучені з космічними GPS-системами, модулі контролю положення антенних фазированих решіток, системи катапультування й індивідуального наведення	
2	Мініатюрні керовані радіо- і оптоелектронні компоненти, мікропривід і мікромашини	Мініатюрна керована елементна база	
		Цивільне приладобудування	Спеціальне приладобудування
		Мініатюрні керовані конденсатори, резистори, дзеркала, модулятори, елементи мікроприводу, мінітурбіни, мікродвигуни, мікрогенератори	
3	Аналітико-технологічні мікро-системи	Мініатюрні аналітико-діагностичні чіпи й мікрохімічні реактори	
		Біотехнологія, медицина, нафтохімія, харчова промисловість	Хімічний захист, виявлення, дослідження й утилізація особливо небезпечних речовин

Закінчення табл. 2.20

1	2	3	4
4	Мікро- і нано-інструмент	Мікро- і наноманіпулятори, мікротехнологічні пристрої	
		Медицина, мікробіологія, наноелектроніка	Медицина, наноелектронні системи спеціального призначення
5	Мініатюрні робототехнічні системи	Мініатюрні автономні керовані саморушійні системи	
		Мініроботи для діагностики в медицині, ядерній енергетиці, хімічній промисловості	Мініроботи для розвідки й бойових дій

Узагальнюючі сучасний стан в області стимулів і факторів, що сприяють розвитку мікросистемної техніки, можна виділити таке:

- наявність наукової і технологічної культури, що сформувалася в період становлення і розвитку мікро- і оптоелектроніки;
- наявність базового обладнання, виробничих потужностей і організаційної інфраструктури мікроелектронного виробництва, які придатні для реалізації на них об'єктів мікросистемної техніки;
- активний ринок сенсорних систем різного функціонального призначення і конструктивного виконання;
- тенденції до інтеграції процесів мікро- і біотехнології в рамках біонічного «ренесансу» в області архітектури, принципів функціонування і матеріалів;
- поява на ринку систем обробки інформації і управління перспективного покоління інтегральних схем з нейроподібною структурою, яка забезпечує новий рівень «інтелектуальних» можливостей і швидкодії мікросистем при збереженні або покращенні попередніх масогабаритних та енергетичних показників;
- перспективи нового активного ринку в області мініатюрних дешевих діагностичних систем контролю за життєдіяльністю людини на основі концепції економічної доцільності масової профілактики захворювання по відношенню до їх лікування;
- формування ринку обладнання для технологій на мікрорівні (крім мікроелектронних) за рахунок широкого розвитку біотехнології і більш жорстких вимог до роботи з радіоактивними, токсичними, вибухонебезпечними речовинами, що визначає перехід до використання надмалих кількостей речовин в обмежених об'ємах.

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Сьогодні вже загально визнано, що МСТ має пріоритетне значення для оборонної промисловості, забезпечення ядерної та екологічної безпеки держави, розвитку біотехнології та медичного обслуговування.

У табл. 2.21 подано співвідношення напрямів розробок і галузей застосування МСТ у сучасних умовах розвитку нанотехнологій [54, с. 67].

Таблиця 2.21

### Співвідношення напрямів розробок і галузей застосування мікросистемної техніки нового покоління

№ з/п	Галузі застосування	Напрями розробок				
		Сенсори і транsd'ютери	Мікропривід і мікромашини	Мікро- і наноінструмент	Аналітико-технологічні мікросхеми	Мініатюрні робото-технічні засоби
1	Аерокосмічна техніка	+	+	-	-	+
2	Автомобільний і залізничний транспорт	+	+	-	-	-
3	Видобувний і енергетичний комплекс	+	-	-	+	+
4	Переробна, хімічна та харчова промисловість	+	-	-	+	-
5	Біотехнології і медицина	+	+	+	+	+
6	Військова справа	+	+	+	+	+

Ефект від реалізації робіт в області МСТ визначається:

- створенням приладів і машин нового покоління з низькою матеріало- і енергоємністю, які забезпечують вирішення традиційних і раніш не доступних завдань в умовах скорочення робочих площ, що потребуються, зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище, підвищення безпеки роботи людини;
- використанням інтегрально-групових принципів виробництва, які створюють передумови до зниження собівартості продукції, що стає доступною широкому колу споживачів, включаючи сфери науки, освіти, медицини, малого і середнього бізнесу;
- широким застосуванням при створенні технологічних мікросистем стандартного обладнання мікроелектронного виробництва, яке на тепе-



рішній час в Україні, як правило, не використовується за прямим призначенням;

- можливістю реалізації раніш недоступних процесів в умовах мікрооб'єктів і при використанні надмалих кількостей речовини, що зменшує затрати на стадії проведення досліджень і знижує потребу у затратних матеріалах з високою вартістю;
- високою ефективністю аналітико-діагностичних мікросистем в умовах вирішення завдань з профілактики захворювань, тобто збереження «людського капіталу».

Сьогодні країни, які фактично визначають науково-технічний прогрес сучасного світу, використовують стосовно напряму «мікросистемна й наносистемна техніка» термін «критичні технології», тим самим надаючи програмам дослідження й розробок статус «національних», «пріоритетних». Наприклад, в США цими питаннями займаються такі відомі фірми, як Intel, MEMS Industry Group, Sandia National Labs. Коло питань, що розглядається, – від авторучки без розбризкування чорнил до бездротової передачі даних, оптичних пристроїв управління зброєю і мініспутників. Агенція перспективних розробок Міноборони США реалізує програму «Розумний пил», спрямовану на створення надмініатюрних пристроїв, спроможних генерувати енергію, проводити моніторинг навколишнього середовища, накопичувати і передавати інформацію [52, с. 30].

У табл. 2.22 наведено приклади розробки мікро- і наноелектромеханічних систем для створення елементної бази мікро- і наноелектромеханіки, а також наноелектромеханічних приладів і систем [52, с. 31 – 32].

Таблиця 2.22

**Мікро- і наноелектромеханічні системи для створення елементної бази, приладів і систем**

№ з/п	Назва об'єкту	Основні можливості	Перспективи застосування
1	2	3	4
I. Розробка елементної бази мікро- і наноелектроніки			
1	Нанoeлементи для прямого перетворення електричної енергії в механічну	Статичні елементи – на основі орієнтованих пучків нанотрубок, що у багато разів ефективніші за п'єзоелектричні	Можуть працювати, наприклад, у фізіологічному розчині (перспективно для біомедицини)
		Динамічні елементи – на базі нанотрубок забезпечують комутацію в пікосекундному діапазоні	Надшвидка передача інформації (технічні пристрої)



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Продовження табл. 2.22

1	2	3	4
		Одношарові нанотрубки з великим аспекним співвідношенням	Можуть переміщуватись у рідких середовищах за рахунок хвилеобразного руху (технічні і медичні пристрої)
2	Заповнені нанопорожнини чужорідними атомами, молекулами, кластерами, фулеренами	Заповнені нанотрубки – дозволяють змінювати характеристики елементів і створювати однорівнірні кристали	Зберігання і доставка визначених компонент в необхідне місце за допомогою зондових технологій
		Заповнені двовимірні і тривимірні нанопористі середовища – дозволяють створювати фотонні кристали	Основи для оптичних комутуючих пристроїв «безпорогових» лазерів, надчутливих фотоприймачів. Для медицини викликає інтерес приєднання до нанотрубок органічних комплексів і ДНК
3	Надчутливі сенсори без проміжного перетворення енергії	Сенсори без проміжного перетворення енергії – можуть бути створені, оскільки частотний діапазон механічних коливань наноелементів близький до обертового і коливального спектрів молекул	Медицина, екологія, технічні застосування, оборона тощо
4	Ефекти автоемісії в наноелементах	Ефекти автоемісії разом з квантово-механічними ефектами, пов'язаними з перенесенням зарядів, відіграють все більшу роль в таких наноелементах. Пороги автоемісії для нанотрубок на декілька порядків нижче, ніж у традиційних елементах, що дозволяє створити нанолампи, скомбіновані з нанотранзисторами	Важливо для пристроїв обробки інформації, які експлуатуються в екстремальних умовах і умовах спецвпливу (медицина, військової розробки, космос)
<b>II. Наноелектромеханічні прилади і системи</b>			
1	Наноелектромеханічні запам'ятовуючі пристрої терабітної ємності	Матричні багатозондові скануючі пристрої у сполученні з регулярними середовищами з наноелементів дозволяють створювати терабітні запам'ятовуючі пристрої зі щільністю до 10 біт/см <sup>2</sup>	Необхідно для систем обробки інформації нових поколінь
2	Мікро- і нанооптоелектромеханічні системи	Керовані мікромеханічні дзеркальні рефлектори і дифракційні решітки забезпечують комутацію і селекцію сигналів при бездротовій передачі даних зі швидкістю 10 <sup>12</sup> біт/с.	Використання в системах керування зброєю, мікророботами тощо
3	Мікроробототехніка	Мікропристрої, що спроможні пересуватись, збирати, зберігати і передавати інформацію, здійснювати певні дії у відповідності до закладеної програми або команди	Розробка мікродвигунів, мікронасосів, мікроприводів

Закінчення табл. 2.22

1	2	3	4
4	Мікро- і нано-електромеханічні датчики	Нанодатчики різноманітних фізичних величин (прискорення, вологості, зміни розмірів, швидкості спливання хімічних і фізичних процесів)	Вимірювання параметрів при застосуванні нанотехнологій

Наведемо декілька прикладів використання нанотехнологій в *наноелектромеханіці* (у період 2001 – 2006 рр.) [2, с. 260 – 265; 54, с. 181 – 186]:

- 1) Вчені зі США за допомогою мікролітографії створили мікроскопічний кремнієвий пристрій – *нанотовкач*, який може коливатися при пропусканні електричного струму (схожий на двохсторонній гребінець). Під впливом електричного струму та зовнішнього магнітного поля пристрій починає вібрувати і рухати «лопастями» з частотою коливань до 1 ГГц! (тобто з рекордною частотою для пристроїв, створених людиною). Причому, при зниженні температури до кількох мілікельвінів переміщення стають дискретними (квантовими);
- 2) Вчені з Нідерландів створили *нанодвигун* на основі несиметричної органічної молекули на поверхні тонкої рідкокристалевої півки. Так, молекула обергала скляний стрижень, що був у 10 000 разів більше за молекулу-наномотор;
- 3) Подальший розвиток НЕМС пов'язаний із розробкою ефективних нанорозмірних двигунів і їх деталей. Природні нанодвигуни (наприклад, джгутиковий двигун бактерій) давно існують у біологічних системах, мають подібність до валу і структуру навколо нього, схожу на арматуру. Проте вони приводяться в дію не електромагнітними силами, як звичайний електродвигун, а хімічною трансформацією багатих енергією молекул аденозинтрифосфату (АТФ). Передача енергії від АТФ до храповика дозволяє білковому валу обергатись. Створення *нанодвигунів на основі АТФ* дозволить приводити до рух нанороботів, а розвиток бездротового лазерного зв'язку дозволить управляти ними і слугувати «енергодротом»;
- 4) Група нідерландських вчених створила прототип *мікросортувальника молекул* на основі біомолекулярного наномотору (кінезину), який в живих організмах в результаті гідролізу АТФ спроможний перетворювати хімічну енергію в енергію спрямованого руху. Вважається, що такі біосортувальники і біомотори буде можливим успішно використовувати в наносистемах майбутнього;

- 5) Серед існуючих сьогодні мікроприводів (мікроактуаторів), що забезпечують поворотно-поступальне переміщення робочих органів різних механічних пристроїв, найбільшого поширення набули електростатичні, які використовують енергію електричного поля для здійснення руху. На даний час вже існують дослідні зразки мікродвигунів з розміром ротора близько 1 мм і швидкістю обертання 40 тис. об/хв. Продовженням таких робіт стала розробка університеті Берклі (Каліфорнія) *електростатичного нанодвигуна* розміром в 500 нм. Ротор мотору виготовлено із золота і закріплено на багат шаровій нанотрубці. Дві нанотрубки, вставлені одна в іншу, утворюють підшипник. Товщина ротора – 5 – 10 нм. Два заряджені статори, також виготовлених із золота, розташовано на кремнієвій поверхні. Швидкість обертання такого наномотору приблизно 30 обертів за секунду;
- 6) Військове наукове агентство США DARPA на базі МЕМС розробляє *мікролітак* завдовжки 15 см і масою 50 г, здатний триматися у повітрі 60 хв, підійматись на висоту 10 км і рухатися зі швидкістю 30 км/год. Він буде обладнаний відео- та інфрачервоною камерами і радаром, а його бортовий мікрокомп'ютер зможе забезпечувати самостійний рух за заданим маршрутом;
- 7) Американські вчені створили *наномаятник* з нако краплин рідкого індію і вуглецевих нанотрубок, який має регульовану частоту коливань і період коливань – кілька сотень піко-секунд;
- 8) Вчені з Каліфорнійського технологічного університету створили найбільш чутливі *нановаги* в історії, які спроможні зважити кілька десятків атомів (7 цептограм). При доопрацюванні розроблена методика дозволить зважити окремі атоми (досягти чутливості  $10^{-24}$  г). Дослідження нановагів мають велике значення як для вивчення ізотопів і нейтральних молекул (які неможна вивчати в мас-спектрометрах), так і для досліджень окремих біологічних молекул, включаючи віруси і ДНК. Але треба вирішити проблему: біологічні молекули існують у рідинних розчинах, а сучасні нановаги поки можуть працювати тільки в умовах високого вакууму;
- 9) Вчені з Університету штату Каліфорнія в Берклі (США) створили *рідинні нанотранзистори* (тобто змінюючи поверхневий заряд вуглецевої нанотрубки за допомогою керуючого електрону закривання, вчені навчилися керувати током іонів вздовж нанотрубки). Одержані результати мають величезне значення не тільки для електроніки і фізики, але й для біології: рідинний нанотранзистор спроможний дуже ефективно *мані-*

пулювати фрагментами ДНК (!). В майбутньому можна буде управляти окремим біологічними молекулами, це – ідеальні надчутливі сенсори біологічної та бактеріологічної зброї масового ураження.

#### 2.2.6. Обробна промисловість, технології з елементами нанотрибології та інші застосування

Сферою масштабного застосування нанотехнологій є **обробна промисловість** з віднесенням до неї у якості інших застосувань *будівництвом*. До основних галузей обробної промисловості, що використовують нанопродукти, відносяться:

- хімічна промисловість;
- металообробна промисловість;
- машинобудування (виготовлення промислового обладнання);
- автомобільна промисловість;
- будівництво;
- текстильна промисловість;
- целюлозно-паперова промисловість;
- сільське господарство;
- оборона;
- охорона навколишнього середовища;
- споживчі товари.

До цього сектора відносяться застосування у галузях обробної промисловості нанодатчиків, нанокатализаторів; нанокompatитів та інших застосувань, в тому числі нанофільтрація, нанотрибологія і споживчі товари.

У табл. 2.23 наведено застосування нанотехнологій до сектора «Обробна промисловість та інші застосування», які можна згрупувати в шість сегментів відповідно до типу нанотехнології, що використовується [48, с. 51]. Це пов'язано з великою кількістю окремих застосувань нанотехнології і складністю їх групування за типом користувача.

Приведемо декілька прикладів використання нанотехнологій в обробній промисловості та інших галузях. Так, вчені з Національної лабораторії Лоуренс Лівермор (США) створили надзвичайно ефективні **наномембрани** на основі вуглецевих нанотрубок з діаметром біля 1,6 нм (що складає всього 7 діаметрів молекули води). Відфільтровані молекули проходять наномембрану у 50 разів скоріше, ніж у найкращих полікарбонатних мембранах, за рахунок надгладкої внутрішньої поверхні нанотрубки [54]. Крім того, моделювання поведінки води

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

в нанотрубці за допомогою методів молекулярної динаміки показало, що ці молекули в обмеженому просторі утворюють «волокна»! Ці дослідження мають величезне практичне значення, наприклад, для пояснення механізму молекулярного транспорту в біології, вибіркової фільтрації молекул вуглекислого газу, кисню і азоту з повітря, в яку вкладаються величезні кошти.

Таблиця 2.23

### Основні сегменти ринку нанотехнологій у сфері «Обробна промисловість та інші застосування» відповідно до галузі застосування

Обробна промисловість та інші застосування			
Застосування нанокompозитів	Споживчі товари	Інші застосування	Нанодатчики, нанокаталізатори і нанофільтрація
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ на основі глини;</li> <li>▪ на основі кераміки;</li> <li>▪ на основі металів/оксидів металів;</li> <li>▪ на основі вуглецевих трубок;</li> <li>▪ нанобіокompозити;</li> <li>▪ інші нанокompозити</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ тканини і одяг;</li> <li>▪ електричні та електронні товари;</li> <li>▪ побутова хімія;</li> <li>▪ засоби особистої гігієни;</li> <li>▪ спортивні товари;</li> <li>▪ фототовари і оптика;</li> <li>▪ легкові автомобілі</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ фотокаталітичне і хімічне обеззараження;</li> <li>▪ стійкі до подряпин покриття;</li> <li>▪ вставні пластини;</li> <li>▪ структурна кераміка;</li> <li>▪ покриття, що запобігають прилипанню;</li> <li>▪ аерогелеві ізоляція будівель</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Застосування нанодатчиків;</li> <li>2. Застосування нанокаталізаторів;</li> <li>3. Застосування нанофільтрації</li> </ol>

Сьогодні все більш широке розповсюдження у комерційному використанні знаходять продукти, які зменшують тертя в парах, що труться. За останні роки було встановлено, що при глибокій невривноваженості та нелінійності термодинамічного процесу при терті можлива самоорганізація і створення особливих нанорозмірних структур з унікальними трибологічними властивостями. Тобто, з'явилась можливість роботи при більш досконалії системі, ніж тертя при граничному змащуванні. **Нанотрибологія** вивчає вказані фізико-хімічні процеси в межах нанорозмірів. В результаті проведених досліджень тертя тепер виявляється не тільки як руйнівне явище природи – воно в певних умовах може бути реалізовано як творчий процес, що самоорганізується, і дозволяє розробити нові, раніше невідомі методи відновлення деталей і технічного сервісу машин. До них, зокрема, відносяться: технологія фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО), методи прискореного припрацювання (обкатки) деталей машин і обладнання, безрозбірне відновлення агрегатів і вузлів техніки при безперервній обробці тощо. У табл. 2.24 наведені узагальнені дані дисперсних матеріалів, які забезпечують покращення характеристик покриттів [49, с. 259].

Таблиця 2.24

**Узагальнені дані дисперсних матеріалів, які забезпечують покращення характеристик покриттів**

№ з/п	Властивості покриття	Дисперсні матеріали
1	Твердість і зносостійкість	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , WC, ZrO <sub>2</sub> , TiC, HfB <sub>2</sub> , ZrB <sub>2</sub> , B <sub>4</sub> C, BN, B, Cr <sub>3</sub> B <sub>2</sub> , ZrC, ThO <sub>2</sub> , CeO <sub>2</sub> , TaC, WS <sub>2</sub> , алмаз
2	Зносостійкість в умовах сухого тертя і підвищених температур	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiB <sub>2</sub> , SiC, C
3	Жаростійкість	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , C, B, B <sub>4</sub> C, ZrO <sub>2</sub>
4	Корозійна стійкість	Аморфний бор, каолін, ZrB <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC
5	Антифрикційність	Аморфний бор, CuF <sub>2</sub> , WC, MoS <sub>2</sub> , BN, BaSO <sub>4</sub> , ПВХ, ПЭ
6	Термостійкість	Окси, карбіди
7	Поруватість	Карбонільний нікель
8	Самозмащення	Фторований графіт, графіт, MoS <sub>2</sub> , BN, WS <sub>2</sub> , CaF <sub>2</sub> , слюда
9	Теплопровідність	Політетрафторетілен
10	Ерозійна стійкість	Карбіди
11	Міцність	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC
12	Опір тужавінню	Аморфний бор

У перспективі можливість нанесення покриттів (наприклад, методом ФАБО) на сталеві і чавунні деталі дозволить здійснити повну заміну деталей з кольорових сплавів. Застосування композиційних матеріалів дозволило виконати на ряді машин заміну підшипників кочення опорами ковзання і домогтися значно більш високого міжремонтного ресурсу і більш високої якості деталей, що були відновлені.

Наноматеріали знаходять все більш широке використання у різних препаратах *автохімії*: від ремонтно-експлуатаційних домішок до палива і мастильних матеріалів (для безрозбірного відновлення агрегатів і вузлів техніки в процесі їхньої безперервної експлуатації), шампунях и поліролях.

Нанотехнології сприяють створенню **конструкцій та структурних елементів** широкого кола виробів машинобудування і будівництва будівель та споруд, які мають характеристики, що неможливо досягти при використанні звичайних конструкційних матеріалів для різноманітних застосувань [48, с. 48 – 49]. У цій групі особливе місце посідають «інтелектуальні» матеріали, які можуть адаптуватися до умов, що змінюються, або виконувати певну функцію у несприятливих для звичайних матеріалів умовах.

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Крім того, нанотехнології передбачають велику кількість інших застосувань – від нанодатчиків у конкретних застосуваннях (хімія, біологія, радіація, температура, рух, прискорення тощо) або у вже реально доведеній можливості реалізації системи «розумного пилу» – глобального чи локального моніторингу середовища, здоров'я людей або воєнних дій, включаючи боротьбу з тероризмом – до стійких до забруднення тканин і тенісних ракеток, що не зношуються.

Нанотехнології знаходять все більш широке застосування у **ракетно-космічній техніці (РКТ)** [2, с. 271 – 274]. Сьогодні розвиток РКТ стримується високою вартістю виведення вантажів на орбіту, тому зниження масових характеристик її виробів (зниження маси космічного апарату на 1 кг забезпечує економічний ефект близько 20 тис. дол. США) при забезпеченні їх функціональних властивостей є однією з головних проблем виробництва РКТ. Область можливих застосувань нанотехнологій в авіації і космічній техніці дуже широка, а найбільш перспективні напрями застосувань подані у *табл. 2.25*.

Таблиця 2.25

### Перспективні напрями застосувань нанотехнологій в авіації і космічній техніці

№ з/п	Напрями застосування	Приклади	Нові можливості
1	2	3	4
1	Пошуки нових методів зниження розмірів і маси космічних апаратів, а також підвищення ефективності систем запуску	Наноструктурні матеріали і пристрої	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Легкі, міцні і термостійкі <i>деталі літаків, ракет, космічних станцій і дослідницьких зондів</i> для дальніх космічних польотів;</li> <li>▪ Дослідження (а в майбутньому і виробництво) в умовах космічного простору (відсутність гравітації, високий вакуум) <i>наноструктур і наносистем, які неможливо отримати на Землі</i></li> </ul>
2	Розробка високоякісної обчислювальної техніки	Обчислювальна техніка	Обчислювальна техніка з низьким енергоспоживанням і стійка до радіації
3	Створення наноапаратури для мініатюрних космічних апаратів	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Кремнієві гіроскопи, акселерометри, датчики тиску, клапани, мікроджерела енергії, мікроприводи і мікродвигуни</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ МЕМС, створені на основі мініатюризації та інтеграції, мають дуже корисні для космічної техніки властивості виробів: портативність, високий термін служби (гранично малі маси елементів мінімізують вібраційні та інерційні перевантаження), низьке споживання енергії, простота в обслуговуванні й заміні;</li> <li>▪ МЕМС дозволять приблизно на порядок зменшити розміри, масу і споживання енергії космічних апаратів;</li> <li>▪ Приводи і двигуни, створені за технологією МЕМС, будуть здатні забезпечити значні сили і крутячі моменти, замінять звичайні механізми і стануть ключовим при створенні мікросупутників, мікрозондів і мікропланетоходів</li> </ul>



Продовження табл. 2.25

1	2	3	4
3	Створення наноапаратури для мініатюрних космічних апаратів	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Системи хімічного і біологічного аналізу</li> <li>▪ Електростатичні приводи як мікроперемикачі СВЧ-сигналів;</li> <li>▪ Високочастотні оптичні та механічні фільтри і високочастотні ключі;</li> <li>▪ Оптичні прилади, засновані на використанні масивів мікродзеркал, орієнтація яких може керовано змінюватись</li> </ul>	<p>Мініатюризація біоаналітичних приладів, придатних для використання на інших планетах. Такі прилади можуть включати мініатюрні капілярні системи електрофорезу, ДНК-детектори, хімічні сенсори і біосенсори для дослідження біослідів</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Мікроперемикачі СВЧ-сигналів перспективні для використання в космічних системах зв'язку, побудованих з пікосупутників. Ці перемикачі мають такі переваги, як: низькі втрати, що вносяться; висока добротність; низька споживана потужність, хороша ізоляція на високій частоті і низька вартість. Можливість виготовлення електромеханічних перемикачів на одному кристалі з мікроелектронними компонентами дозволяє створювати системи з високою функціональністю;</li> <li>▪ Масиви мікродзеркал, що утворюють єдине дзеркало, можна використовувати як мікромініатюрні просторові модулятори світла. Мікродзеркала можуть модулювати або амплітуду, або фазу падаючого світлового сигналу за рахунок зміни напрямку довжини оптичного шляху світла. Електростатичні приводи є одним із ефективних способів управління положенням мікродзеркала, що забезпечує мінімальну масу виробу</li> </ul>
4	Розробка нанодатчиків і наноелектронних пристроїв для авіаційної і космічної техніки	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанопристрої для авіаційної техніки</li> <li>▪ Наносупутник SNAP-1 (Великобританія) модульної конструкції, масою 6,5 кг;</li> <li>▪ Мікрореактивні двигуни з розмірами 12x15x2,5 мм, що створюють тягу до 1 кг;</li> <li>▪ Пікосупутники зв'язку масою до 250 г.;</li> <li>▪ Планетоходи масою декілька кілограмів</li> </ul>	<p>«Розумна поверхня» з активним управлінням буде доступна для літаків і космічних кораблів</p> <p>Відмінною рисою космічної техніки майбутнього буде її структура, яка подібно до живих організмів матиме інтегровані в єдине ціле паралельні і розподілені десятки тисяч мініатюрних адаптивних і інтелектуальних осередків типу «сенсор-процесор-активатор». Такі осередки, що характеризуються єдиним принципом побудови, будуть мати специфічні особливості, зумовлені їх призначенням, тобто відрізнятись набором сенсорів і активаторів, а також продуктивністю і типом керуючого мікропроцесору. Застосування таких осередків дозволить істотно розширити функціональні можливості існуючих виробів космічної техніки, а також створити принципово нові типи піко- і наносупутників, планетоходів, пристроїв і приладів космічного призначення</p>



## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

Закінчення табл. 2.25

1	2	3	4
5	Створення термоізоляційних і зносостійких покриттів на основі наноструктурних матеріалів	Покриття на основі наноструктурних матеріалів	Термоізоляційні і зносостійкі покриття з властивостями, що не були доступні для традиційних матеріалів і способів їх нанесення

### Висновки

1. Сьогодні нанотехнології є однією з *основних тенденцій розвитку науки й техніки* і суспільного прогресу взагалі;

2. Специфіка явищ і процесів, які відбуваються при переході до нанотехнологій, пов'язана із проявом квантових фізичних законів і хвильовою природою мікрочастинок, коли властивості речовин і матеріалів, створених наноелементами, обумовлені не тільки зменшенням структурних елементів, але й хвильовою природою перенесення й домінуючою роллю поверхонь розділу. Як наслідок, *людство вступає в таку «виробничу» сферу, де зникає межа між живою й неживою природою;*

3. Нанотехнології вже зачіпають і можуть докорінно змінити медицину і біотехнології, енергетику, електроніку, обробну промисловість і багато інших галузей економік країн світу. Перехід до нанотехнологій, а саме до атомного конструювання будь-яких матеріалів, надає найважливіший результат – *дематеріалізацію виробництва і різке якісне зменшення енерго- і ресурсоемності;*

4. Дослідники, інвестори, фірми вже оцінили можливості нових технологій і усе ширше впроваджують їх у комерційне виробництво. Очевидно, *нанотехнології зможуть вийти на повномасштабне комерційне застосування після того, як будуть вирішені три проблеми: самоорганізація наноматеріалів, їхнє самоформування й самоскладання.*

### Література

1. Мельник Л. Г. Информационная экономика. – Сумы: ИТД «Университетская книга», 2003. – 288 с.

2. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток: Монографія / В. С. Пономаренко, Ю. Ф. Назаров, В. П. Свідерський, І. М. Ібрагімов. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2008. – 280 с.

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

4. Feynman R. There's Plenty of Room at the Bottom: an invitation to enter a new field of physics / R. P. Feynman // Engineering & Science (California

Institute of Technology) February 1960. – PP. 22 – 36. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nano.xerox.com/nanotech/ feynman.html>. Російський переклад: Химия и жизнь. – 2002. - №12. – С. 21 – 26.

5. Taniguchi N. On the Basic Concept of NanoTecnology / N.Taniguchi // Proc. Intl. Conf. Prec. Eng. – Tokio. – Part II, 1974.

6. Drexler K. E. Molecular Engineering: an Approach to the Development of General Capabilities for Molecular Manipulation / K. E. Drexler // Proc.Natl. Acad.Soc.USA. – 1981. – No 78. – P. 5275 – 5278.

7. Drexler K. E. Engines of Creation: the Coming Era of Nanotechnology / K. E. Drexler. – NY: Ancor Press, 1986 // Doubleday. Русский перевод по ссылкам: <http://mikeai.nm.ru/russian/eoc/eoc.html>; [http://www.fictionbook.ru/en/author/dreksler\\_yerik/mashiniy\\_sozdaniya/](http://www.fictionbook.ru/en/author/dreksler_yerik/mashiniy_sozdaniya/).

8. Drexler K. E. Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation / K. E. Drexler. – NY: John Wiley and Sons, 1992. – 576 p.

9. Drexler E., Peterson C., Pergamit G. Unbounding the Future – The Nanotechnology Revolution. NY: William Morrow 1991.

10. «National Nanotechnology Initiative: The Initiative and Its Implementation Plan», NSTC/NSET report, July 2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nano.gov/nni2.pdf>

11. The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan, December 2004 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nano.gov/NNI\\_Strategic\\_Plan\\_2004.pdf](http://www.nano.gov/NNI_Strategic_Plan_2004.pdf)

12. Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, Ed. N.A. Nalwa, American Scientific Publ, 2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nanotechweb.org>; <http://nanoforum.org>

13. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи / М. Ратнер, Д. Ратнер; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 240 с.

14. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М. К. Роко, Р.С. Уильямса, П. Аливисатоса. – М.: Мир, 2002.

15. Пул Ч-мл., Оуэнс Ф. Нанотехнологии / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс; 5-е изд., исправленное и дополненное. – М.: Техносфера, 2010. – 336 с.

16. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси; пер. с япон. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 134 с.

17. Альтман Ю. Военные нанотехнологии / Ю. Альтман. – М.: Техносфера, 2006. – 416 с.

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

18. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего / В. И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2008. – 256 с.
19. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев; 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 416 с.
20. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под ред. Б. Бхушана. – М.: Техносфера, 2010.
21. Наноструктурные покрытия / Под ред. А. Кавалейро, Д. де Хоссона. – М.: Техносфера, 2010.
22. Нанотехнологии, метрология, стандартизация и сертификация в терминах и определениях / Под ред. М. В. Ковальчука, П. А. Тодуа. – М.: Техносфера, 2009.
23. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника / Сб. статей под ред. П. П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
24. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника – 2008 / Сб. статей под ред. П. П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2008.
25. Мартинес-Дуарт Дж. М., Мартин-Палма Р. Дж. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма. – М.: Техносфера, 2009.
26. Наноструктурные материалы / Под ред. Р. Ханнинка. – М.: Техносфера, 2009. – 488 с.
27. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности / Л. Фостер. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
28. Наноструктуры в электронике и фотонике / Под ред. Ф.Рахмана. – М.: Техносфера, 2010. – 344 с.
29. Наноструктурные материалы / Под ред. Р. Ханника, А. Хилл. – М.: Техносфера, 2009. – 488 с.
30. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение. – М.: Москва, 2006. – 224 с.
31. <http://www.nanonewsnet.ru/what-are-the-nanotechnologies>
32. <http://cas.ssu.runnet.ru/nlc/student.htm>
33. Ваучский М. Н. Понятийный аппарат наномира / Интернет-ресурс: <http://www.ntsр.info/science/library/3199.htm>
34. <http://www.rusnano.com>
35. <http://www.expert.ru/printissues/volga/2007/03/nanoindustriya/>
36. <http://www.nanoportal.ru/nanoarticles/interview/tretiakov/>, <http://viperson.ru/wind.php?ID=487920&soch=1>

37. <http://www.forums.nas.gov.ua/lectures-nansys2007/Pages/LectureGusev.aspx>
38. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Нанотехнологія>
39. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.
40. Головин Ю. И. Нанотехнологическая революция стартовала! / Интернет-ресурс: [http://www.abitura.com/modern\\_physics/nano/nano2.html](http://www.abitura.com/modern_physics/nano/nano2.html)
41. Vettiger P., Cross G., Despont M., Drechsler U., During U., Gotsmann B., Haberle W., Lantz M. A., Rothuizen H. E., Stutz R. And Binnig G. K. The «Millipede» – Nanotechnology Entering Data Storage». IEEE Transactions on Nanotechnology 1 (1), 2002: P.39 – 55
42. MacDonald N. C. «Nanostructures in Motion: Micro-Instruments for Moving Nanometer-Scale Objects», in G. Timp (ed.) Nanotechnology, 1999. New York: AIP1» Springer.
43. De Wild M., Berner S., Suzuki H., Ramoino L., Baratoff A. And Jung T. A. «Molecular Assembly and Self-Assembly – Molecular Nanoscience for Future Technologies», Annals of the New York Academy of Sciences 1006 (1), 2003: P. 291 – 305.
44. Матюшенко И. Ю. Общие перспективы развития нанотехнологий / Социально – экономическое развитие Украины и ее регионов: проблемы науки и практики 2011: Монография. – Х.: ФЛП Александра К.М., ИД «ИНЖЭК», 2011. – С.79 – 128.
45. Gleiter H. Deformation of Polycrystals: Mechanisms and microstructures // Proc. of 2nd RISO Symposium on Metallurgy and Materials Science. Roskilde. 1981. P. 15 – 21/
46. Gleiter H. Nanostructured Materials: basic concepts and microstructure // Acta Materialia, 2000. Vol. 48, № 1. P. 1 – 29/
47. Андриевский Р. Н. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Российский химический журнал, 2002. – № 5. – Т.46. – С.50 – 56.
48. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г.Л. Азоев и др.; под. ред. Г. Л. Азоева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.
49. Балабанов В. И. Нанотехнологии: правда и вымысел / Виктор Балабанов, Иван Балабанов.– М.: Эксмо, 2010.– 384 с.
50. Нагель Дэвид Дж., Смит Ш. Нанодатчики: разработки, перспективы и разнообразие применения // Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности.– М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

## 2. Перспективи розвитку і напрямки застосування нанотехнологій

---

51. Кейси П. Технологии наночастиц и их применение // Наноструктурные материалы. Под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл.– М.: Техносфера, 2009.– 488 с.

52. Наноматериалы и нанотехнологии / Алферов Ж. И., Копьев П. С., Сурсис Р. А. и др. // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П. П. Мальцева.– М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

53. Рахман Ф. От микроструктур к наноструктурам // Наноструктуры в электронике и фотонике / Под ред. Ф. Рахмана.– М.: Техносфера, 2010.– 344 с.

54. Гордиенко Ю. Г. Как сорвать джекпот науки в XXI веке / Ю. Г. Гордиенко. – М.: Эксмо, 2007. – 496 с.

55. Перспективы развития микросистемной техники в XXI веке / Климов Д. М., Васильев А. А., Лучинин В. В., Мальцев П. П. // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П. П. Мальцева.– М.: Техносфера, 2005.– 592 с.

56. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах). Под ред. Б. Бхушана, Т. 1.– М.: Техносфера, 2010.– 864 с.

## 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

---

### 3.1. Структура і сфери застосування нанопродуктів

Термін «*продукт*» у загальному вигляді визначають як матеріальний або нематеріальний результат людської праці [1]. У матеріально-речовій сфері – це виріб, що одержують з вихідної сировини і матеріалів технологічним засобом, в результаті якого властивості вихідного матеріалу змінюються, а продукт набуває нової споживчої вартості.

Цим визначенням відповідають як наноматеріали, так і вироби, створені за допомогою нанотехнологій. При цьому наноматеріали відповідають вказаним визначенням навіть у більшій мірі внаслідок того, що при створенні наноматеріалів вихідні речовини (сировина) перетворюється докорінно, набуваючи і проявляючи абсолютно нові властивості. При виготовленні товарів кінцевого споживання з використанням наноматеріалів/нанотехнологій саме наноматеріали є складовою часткою/інгредієнтом товару і надають йому додаткові властивості, не змінюючи вихідного призначення товару.

Нанопродукти поділяють на первинні і вторинні. *Первинним нанопродуктом* є власне наноматеріали, які складають ядро ринку нано. Вони використовуються у виробництві товарів кінцевого споживання, які, у свою чергу, є *вторинними нанопродуктами* [2, с. 22 – 24]. Подібний поділ необхідний у зв'язку з потребою більш точного визначення ємності ринку нанопродуктів. Реальною науково-технічною основою ринку є наноматеріали і технології їх одержання. При цьому вони займають тільки незначну частку ринку. Значно більшу частку складають вироби, створені з використанням нанотехнологій.

До категорії «*продукція наноіндустрії*» можна віднести [2]:

- *первинну нанотехнологічну продукцію* – продукцію (нанооб'єкти, наносистеми і особливо чисті речовини), створену безпосередньо із застосуванням нанотехнологій, включаючи базову сировину і напівфабрикати для наноіндустрії (зокрема нанопорошки і наноматеріали);
- *продукцію, що містить нано* – продукцію (товари), яка містить нанотехнологічні компоненти (нанооб'єкти, наносистеми і особливо чисті речовини), в тому числі вироблену з використанням первинної нанотехнологічної продукції;

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

---

- *нанотехнологічні роботи і послуги* – роботи і послуги, проведення (надання) яких здійснюється з використанням нанотехнологій або технологій використання первинної нанотехнологічної і (або) тієї, що містить нано, продукції.

При оцінці обсягів ринку вторинних нанопродуктів важливо мати данні про кількість і обсяги наноматеріалів, що використовуються, тобто первинних нанопродуктів. Це дозволяє оцінити реальні обсяги ринку і уникнути ефекту подвійного (а іноді і багаторазового) врахування продажів.

Класифікація нанопродукції, що враховує її ієрархічну складність, представлена на *рис. 3.1* [3, с. 17]. Найширший клас – це наноматеріали і окремі нанооб'єкти, наступний – нановироби, що складаються з багатьох елементів або потребують спеціальної обробки матеріалів. Більш складними за устроєм та у виробництві є гібридні системи, де сполучаються, наприклад, мікро-/наномеханічні вузли і електроніка (МЕМС/НЕМС); мікрохімічні лабораторії на одному чипі тощо. Нарешті на вершині структурної піраміди стоять інтелектуальні роботи, багатокомпонентні системи, які мають у своєму складі сенсорні вузли, процесорну частину, виконавчі органи, рушій тощо.

Сьогодні нанотехнології використовуються у виробництві як мінімум 80 груп споживчих товарів і понад 600 видів сировинних матеріалів, комплектуючих виробів і промислового встаткування. На отриману із застосуванням нанотехнологій продукцію доводиться близько 0,01% світового ВВП, а до 2015 р. цей показник може скласти вже 0,5 – 0,7%. Найбільшими споживачами нанотоварів є компанії з охорони навколишнього середовища (56% загального обсягу ринку), електроніки (20,8%) і енергетики (14,1%) [4, с. 20 – 22].

Сучасне застосування нанотехнологій, спрямоване на рішення глобальних проблем, наведено у *табл. 3.1* [5, с. 51 – 52].

Нанотехнології перебувають на стику наукових і інженерних наук, а сфери їхнього застосування в найближчому майбутньому (на період до 2015 р.) можуть бути наведені у *табл. 3.2* [6, с. 35].

Наскільки незвичайна структура й властивості наноструктур, настільки ж різноманітні й дивовижні можливості їхнього використання в найрізноманітніших сферах діяльності людини.

М. Роко виділяє *чотири основні покоління нанотехнологічних матеріалів і продуктів*, початок кожного з яких може визначатися появою перших комерційних прототипів (що відповідає певному рівню розвитку нанотехнологій). У *табл. 3.3* подано основні характеристики поколінь наноматеріалів і нанооб'єктів, що будуть з'являтися у недалекому майбутньому [7, с. 291 – 292].

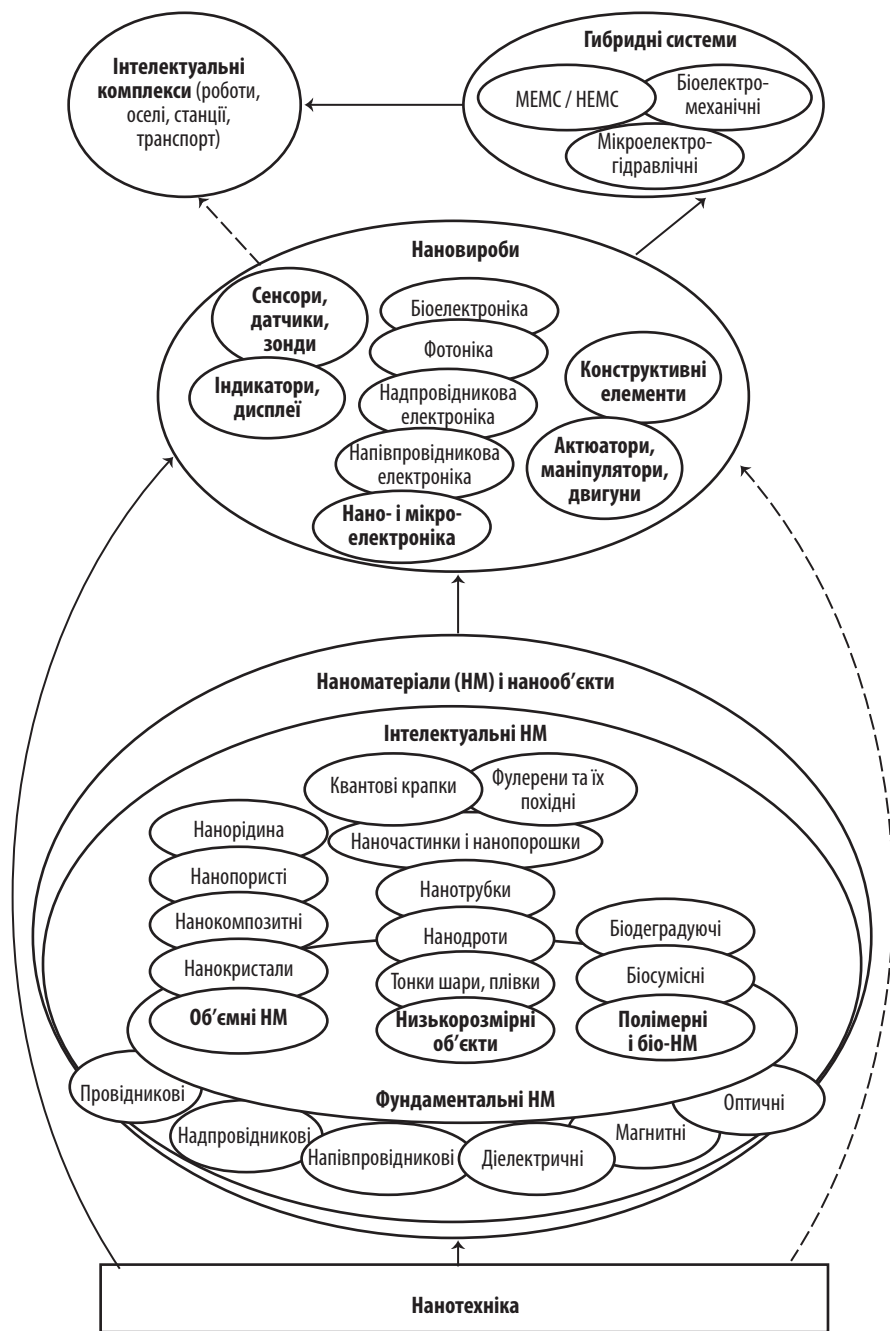


Рис. 3.1. Класифікація нанопродукції



Таблиця 3.1

**Сучасне застосування нанотехнологій і глобальні проблеми**

№ з/п	Глобальна проблема	Застосування нанотехнологій
1	Депопуляція й старіння людства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цільова доставка ліків і протеїнів.</li> <li>2. Біополімери й загоєння біологічних тканин.</li> <li>3. Клінічна й медична діагностика.</li> <li>4. Створення штучних м'язів, кісток, імплантація живих органів.</li> <li>5. Біомеханіка, геноміка, біоінформатика й біоінструментарій.</li> <li>6. Фармацевтика на нанорівні.</li> <li>7. Реєстрація й ідентифікація канцерогенних тканин, патогенів і біологічно шкідливих агентів</li> </ol>
2	Нестача продовольства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Безпека в сільському господарстві і при виробництві їжі;</li> <li>2. Розробка нових високопродуктивних сортів рослин, тварин та ін.</li> </ol>
3	Екологічні проблеми, захист навколишнього середовища	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пристрої контролю оточуючого середовища</li> </ol>
4	Нова енергетика й вичерпання природних ресурсів	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Паливні елементи і пристрої для зберігання енергії.</li> <li>2. Сонячні елементи</li> </ol>
5	Перехід до нового технологічного укладу	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Елементи наноелектроніки й нанофотоніки – напівпровідникові транзистори й лазери, фотодетектори, сенсори тощо.</li> <li>2. Пристрої надщільного запису інформації.</li> <li>3. Телекомунікаційні, інформаційні й обчислювальні технології, суперкомп'ютери; плоскі екрани, відеопроєктори й монітори комп'ютерів.</li> <li>4. Молекулярні електронні пристрої, у тому числі перемикачі й електронні схеми на молекулярному рівні; нанолітографія й нанопрінтинг.</li> <li>5. Пристрої мікро- і наномеханіки, у тому числі актуатори й трансдуктори, молекулярні мотори й наномотори, нанороботи.</li> <li>6. Нанохімія й каталіз, у тому числі управління горінням, нанесення покриттів, електрохімія.</li> <li>7. Авіаційне, космічне й оборонне застосування.</li> <li>8. Засоби забезпечення безпеки й боротьби з тероризмом</li> </ol>

Таблиця 3.2

**Потенційні сфери застосування нанотехнологій**

Сфера	Метод «знизу нагору»	Метод «зверху вниз»
1	2	3
Медицина	Покриття для імплантантів, антимікробні покриття	Сенсори, «лабораторії-на-чипі»
Охорона навколишнього середовища	Засоби збору забруднюючих речовин, очищення води й повітря, керамічні мембрани	Матеріали для сонячних панелей

Закінчення табл. 3.2

1	2	3
Енергетика	Компоненти ядерних реакторів, кабелі для ліній електропередачі	Покриття й матеріали для контейнерів з радіоактивними відходами й відходами спалювання викопного палива
Космонавтика	Покриття й матеріали для елементів фюзеляжу й сопел	Матеріали для двигуна й сонячних панелей
Автомобілебудування	Антикорозійні покриття, вікна, покришки, запалювальники	Електроди для свинцевих акумуляторів
Озброєння	Броня, боєприпаси й покриття для стовбурів	Компоненти двигунів
Промислові покриття	Безпечні для навколишнього середовища покриття (замінники хрому, кадмію й берилію), магнітні покриття	Антикорозійні покриття
Споживчі товари	Спортивне спорядження, настільні й портативні комп'ютери, телевізори, косметика	Компоненти аудіосистем

Таблиця 3.3

**Основні характеристики поколінь наноматеріалів і нанооб'єктів, що прогноуються**

№ з/п	Покоління	Суттєві ознаки	Основні характеристики наноматеріалів і нанооб'єктів
1	2	3	4
1	Перше покоління (з 2001 р.)	Пасивні структури – синтезовані для забезпечення наперед заданих макроскопічних характеристик або функцій об'єктів, що створюються	Нанопокриття, дисперсії наночасток і деякі об'ємні матеріали (наприклад, наноструктуровані метали, полімери, керамічні вироби)
2	Друге покоління (з 2004 р.)	Активні структури – спроможні реагувати на зовнішній вплив (механічний, електронний, магнітний, фотонний, біологічний) і поєднані з іншими мікроскопічними пристроями і системами	1. Нові типи нанотранзисторів, деякі компоненти підсилювачів на КМОП-структурах; 2. Ліки і хімічні препарати гостроспрямованої дії; 3. Деякі типи приводів, так звані «штучні м'язи»; 4. Адаптивні структури тощо
3	Третє покоління (з 2010 р.)	Трьохвимірні структури – синтезовані різними методами, включно з біологічними методами ієрархічної самоорганізації, при якій структури схожі на	1. Розробка гетерогенних наноструктур і супрамолекулярних систем, у поведінці яких можна виділити деякі принципи еволюційного розвитку; 2. Штучні «органи» почуттів і біологічні «тканини» людського організму, які виробляються за допомогою спрямованого та ієрархічно організованого самозбирання;

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Закінчення табл. 3.3

1	2	3	4
		мікророботів, що самі розвиваються і мають власну і змінну поведінку	<p>3. В електроніці – поява обчислювальних та інформаційних нанопристроїв, дію яких буде засновано на квантових взаємодіях або на принципах фотоніки і спінтроники (на основі використання спіну електронів);</p> <p>4. Мікротехніка, тобто виробництво (наприклад, на основі систем, що самоорганізуються) нанометричних механо-електричних пристроїв (НЕМС);</p> <p>5. Продукти і матеріали невідомих зараз типів, які неодмінно виникнуть в результаті злиття технологій в рамках концепції NBIC. Ці технології будуть мати багатостадійний характер, тобто використовувати різні методики на різних рівнях ієрархічного виробництва</p>
4	Четверте покоління (з 2015 р.)	Гетерогенні молекулярні наноструктури, в яких кожна складна молекула є спеціалізованою наноструктурою з особливою побудовою і високою функціональністю. Це, по суті, молекулярні пристрої, оскільки у вказані молекули будуть закладатись найскладніші функціональні можливості	<p>1. Розвиток атомарно-молекулярної інженерії, заснованої на ще невідомих закономірностях самоорганізації речовини;</p> <p>2. «Проектування» макромолекул із заданими властивостями;</p> <p>3. Створення нанорозмірних механічних пристроїв;</p> <p>4. Спрямована і багаторівнева самоорганізація атомарних структур з квантово-механічним контролем процесів збирання;</p> <p>5. Створення нанопристроїв для медичного контролю та лікування;</p> <p>6. Забезпечення безпосередньої взаємодії між людиною і обчислювальними пристроями на рівні контакту нервових кінцевих частин з електронними мережами тощо</p>

У загальному вигляді можливості застосування наноструктур наведено в табл. 3.4 [3, с. 276 – 277].

Таблиця 3.4

#### Можливі застосування наноструктур у різних сферах діяльності

№ з/п	Вироби	Характерні властивості й галузь застосування
1	2	3
1	Нові високоміцні конструкційні матеріали на основі нанотрубок (фулеренів, нановолокон) як основного несучого компонента або наповнювача в композиційних матеріалах	Конструкційні матеріали з рекордними значеннями міцності на стискання, розтягання й вигин (від 10 до 100 ГПа), що в десятки разів вище, ніж у високоміцних сталей при щільності в 6 разів менше. Зміцнення наночастинками автомобільних покрішок, полімерів, лакофарбових покриттів, скла, бетону
2	Ультратверді покриття (на рівні твердості алмазу й вище)	Інструмент, пари, що труться, зносостійкі матеріали

Закінчення табл. 3.4

1	2	3
3	Мастильні складові й присадки до масел	Для роботи в екстремальних умовах і підвищення службових характеристик пар, що труться
4	Контейнери водневого палива	Елементи хімічних джерел струму, зокрема літєвих батарей
5	Наносенсори	Для реєстрації різних фізичних і хімічних впливів
6	Контрастуюча речовина	Для магнітно-резонансної томографії на основі парамагнітних атомів, розташованих у фулереновому каркасі. Вони менш токсичні, ніж звичайно застосовувані хелатні комплекси, і дозволяють отримувати більш чіткі зображення
7	Зонди	Для скануючої мікроскопії, атомних маніпуляторів, наномеханічних накопичувачів інформації
8	Нанопровідники, нанорезистори, нанотранзистори, нанооптичні елементи	Нанооптоелектроніка нового покоління
9	Захисні екрани	Захист від електромагнітного випромінювання, високих температур, технологій «стелс» (невидимі для радарів поверхні)
10	Наноконтейнери	Для доставки й індивідуального дозування ліків, діагностичних коштів
11	Вістря	Для створення великогабаритних плоскопанельних дисплеїв високої чіткості та яскравості
12	Надміцні канати	Для запуску й утримання супутників на геостаціонарній орбіті

Крім того, серед найбільш вражаючих результатів у галузі наноматеріалів і нанотехнологій можна відзначити таке:

- зростання міцності й твердості наноструктурованих металів, що використовується, наприклад, при обробці внутрішньої поверхні труб парогенераторів на атомних станціях;
- добавка нанопорошків у ракетне паливо збільшує швидкість горіння палива, а на основі інтеркалірованого графіту створюються нові вибухові речовини з об'ємним горінням;
- фільтри на основі мікро- і наномембран різко підвищують швидкість фільтрації дріжджів при виробництві пива, а фільтри з нановолокон і нанотрубок високоефективні при очищенні води від бактеріофагів (вірусів);
- рідини, що містять наночастки металів, володіють у багато разів більш високою теплопровідністю, що дозволяє їх ефективно використовувати як теплоносії у системах охолодження;
- покриття з наноструктурованих матеріалів характеризуються здатністю до самоочищення під дією сонячного випромінювання, що відкриває перспективи виробництва самоочисних будівельних матеріалів і текстилю;

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

---

- нанокompозити твердих речовин мають підвищену здатність для акумулювання водню й характеризується високою провідністю іонів, що важливо для мініатюризації батарей, джерел електроживлення й для прогнозованого розвитку водневої енергетики;
- фармакінетика таких масових ліків, як аспірин, значно поліпшується в результаті його наноструктурування при механохімічній обробці. Для розробки нових ефективних лікарських засобів з бактерицидними й противірусними засобами успішно використовуються наночастки срібла на поверхні цеолітів. Позитивні результати отримані при застосуванні магнітних наночасток при очищенні крові від токсинів;
- використання квантових точок як люмінесцуючих наномаркерів біологічних об'єктів дозволяє досліджувати процеси метаболізму й ідентифікувати на ранніх стадіях утворення ракових клітин.

Масовому застосуванню поки перешкоджають, головним чином, відсутність зручних високопродуктивних технологій одержання й сортування наноструктур і, як наслідок, висока вартість. У той же час, у ряді галузей це не є вирішальним чинником. Так, для виробництва наноелектроніки, фотонних приладів, сенсорів не потрібна велика кількість матеріалу. Крім того, можливості застосування нових продуктів і технологій в оборонній промисловості, національній безпеці, медицині слабко залежать від їхньої вартості.

#### 3.2. Особливості формування ринку нанотехнологій

Сьогодні на ринку нанотехнологій присутні три суб'єкти [8, с. 188 – 190]:

- 1) *дослідницькі лабораторії університетів, національні лабораторії (наприклад, у США), державні програми національних агентств і міністерств, міждисциплінарні центри* – займаються дослідженням фундаментального поводження наноструктур, тобто створенням фундаменту, на основі якого можуть вийти комерційні продукти або виникнути навіть цілі нові цікаві галузі, для яких необхідні величезні кошти. Крім того, нанонаукові дослідження у більшості випадків вимагають глибоких наукових знань рівня мінімум кандидата наук. Тому існує проблема захисту від «витоку мозків», коли передові дослідники, що зробили коштовне комерційне відкриття, постають перед вибором: заснувати нову компанію, запатентувати відкриття, зробити його загальнодоступним або довірити своєму інституту;
- 2) *великі корпорації* з можливістю дослідження, розробки, виробництва, маркетингу й розподілу (наприклад, Merck, IBM, Dow, Kraft, 3M, Hewlett

Packard, Agilent, Lucent Technologies, Cisco, Sony, Siemens, Hitachi та ін.) і працюють, в основному, з еволюційними технологіями. Багато хто з них уже впроваджує нанотехнології в існуючі продукти, і саме вони будуть зацікавлені в тому, щоб виробництво й розподіл були дорогими, що дозволить їм зіграти на ефекті масштабу. Проблемою цих компаній є повільний і громіздкий процес схвалення, прийняття й комерціалізації нових продуктів;

- 3) *нові компанії, що розвиваються (старт-апи)*, які при перспективі прибутку 50/50 можуть домогтися успіху саме з революційними технологіями.

Поки що більшість сфер застосування нанонауки припадає на побутову, медичну, інформаційну, енергетичну й сільськогосподарську галузі. Це значить, що більша частина прибутку, швидше за все, опиниться в руках основних промислових гігантів, уже присутніх на ринках. Інвестиції в нові компанії середнього розміру й фірми, що розвиваються, з акцентом на нанотехнологіях окупляться, швидше за все, у сфері біотехнологій через те, що нові й молоді компанії мають свої продукти, процеси, ноу-хау й інтелектуальну власність. Вони стають дуже привабливими кандидатами на поглинання іншими компаніями й у загальному випадку купуються більшими гравцями ринку. Це приносить вигоду обом сторонам. Інвесторам і розроблювачам малих компаній це економічно вигідно: продукти розробляються швидко й ефективно, а при їхній доставці власне на ринок використовуються вплив, канали й схеми розподілу великих гравців.

Нанотехнології поліпшують багато еволюційних і революційних технологій, у той же час бізнес нанотехнологій відрізняється від технологічного й Інтернет-бізнесу декількома ключовими моментами [8, 9]:

- 1) Нанотехнології побудовані на *захищеній інтелектуальній власності*, яку можна запатентувати і яку буде важко скопіювати. Час, необхідний на дублювання продукту або процесу, часто виміряється роками, а не місяцями, і конкурент повинен вибрати підхід, який достатньо відрізняється, або ліцензувати існуючий патент. Для нанотехнологій характерні дійсно революційні винаходи, захистивши які можна буде змусити платити кожного, хто хоче його використовувати – навіть найбільші, розвинені компанії. Це може створити серйозний бар'єр при виході на ринок і знизити шанси того, що компанія буде задавлена ціновою політикою добре підготовлених конкурентів;
- 2) у сфері нанотехнологій *немає процесу адаптації продукту*, який переконує споживача в тому, що потрібно користуватися більш швидким

комп'ютером з наночіпом або приймати наномедикаменти. Інженерам і лікарям, можливо, буде потрібно додаткове навчання; машинні цехи й складальні конвеєри потрібно буде переобладнати, але це в цілому не вплине на попит на нові продукти, коли вони стануть доступні;

- 3) *тривалий процес розробки продукту* б'є і по виробнику, і по конкуренту. Він не тільки створює бар'єр, але й означає, що продукти повинні мати більше часу для виходу на ринок. Інвесторам, які звикли до очікуваної окупності інвестицій у два-три роки, буде складно мати справу з більш тривалими й малопередбачуваними дослідженнями й розробками. Для досягнення комерційного успіху це, ймовірно, викличе необхідність вирішувати питання інтеграції систем і виробництва;
- 4) ідеї нових компаній далеко не завжди приходять від людей, що мають якості підприємців. Часто це люди – учені й інженери, і їх необхідно оточити сильними командами менеджерів, здатними управляти грошима, людьми, зв'язками. *Будуть потрібні команди із продажу та розробки продуктів, дослідницькі команди*, за якими потрібно вести ретельне спостереження, щоб вони не перевищили бюджет і розробляли прибуткові продукти. Підприємці, що йдуть на ризик, і інші вкладники в акціонерний капітал можуть не розуміти науки, що стоїть за новими продуктами, але вони повинні розуміти бізнес і людей. У нанотехнологічних фірмах набагато складніше усунути або обійти рішення засновників, що володіють інтелектуальною власністю (хоча існують способи, що не дозволяють їм передавати ідеї іншим підприємствам);
- 5) нанотехнологічні компанії, після того, як вони винаходять продукт або процес, можуть спробувати впровадити його, ліцензувати або продати права (або всю компанію). Роблячи ставку на ліцензування й збір гоно-рарів (але не акціонуючись), ці гроші можна буде вкладати в родинні дослідження, що дозволяє компанії різнобічно розвиватися. Тобто цей підхід полягає у *створенні руху капіталу з мінімальними накладними ви-датками*. Якщо потік капіталу достатній, то компанії не потрібно ставати відкритою або продаватися інвесторам для одержання грошей (це альтернативна стратегія ліквідності). Дана стратегія дозволяє виділяти величезні суми на поточні операції, оскільки звіти, перевірки, реєстрація й інші атрибути відкритої компанії можуть забирати занадто багато часу й ресурсів;
- 6) у минулому американські компанії, що займаються високими техноло-гіями, намагалися обходитися без державної підтримки й покладалися



майже винятково на приватний капітал і ресурси. Сьогодні розуміння того, що нанотехнології дійсно глобальні й можуть перетворити всі сфери життя суспільства, привело до розуміння, що *без сильної державної підтримки на ранніх етапах* жодна країна не зможе втримати лідируюче положення в науці, яка може змінити все. У США активно працюють державні програми у вигляді грантів, початкових капіталів і інвестицій на першому етапі, наприклад такі, як Small Business Innovation Research (SBIR), Small Business Technology Transfer (STTR), які можуть надати ресурси, достатні для відкриття бізнесу (зокрема деякі ресурси Національної нанотехнологічної ініціативи (NNI));

- 7) крім проблеми недостатнього фінансування існує й проблема *надлишкового фінансування*, коли компанія необґрунтовано завищує видатки, підриваючи капітал і знижуючи окупність. У нанотехнологічних компаніях цього можна уникнути, погодивши спочатку з інвестором *етапів виконання проекту*, підготувавши докладний бюджет і роблячи бізнес наскільки можливо малим і наскільки необхідно великим. Однак розробка етапів виконання проекту може бути складним для інвестора в настільки технічній області, як нанотехнології. Сьогодні швидко поширюється практика залучення провідних спеціалістів із дослідницьких інститутів, як консультантів більших промислових фірм на контрактній основі. Це приводить до більш строгого аналізу нової концепції, ідеї й кращому розумінню суті – чи дійсно вона настільки гарна, щоб це було правдою. Хоча такі консультації і витратні, вони допомагають зберегти мільйони вкладених доларів. Деякі інститути, що займаються нанотехнологіями, також заснують програми партнерства університет-промисловість, які ідеально підходять для описаної схеми й дозволяють навчити інвестора (який приносить свій досвід ведення бізнесу, управління ризиком і укладання угод) основним аспектам, що дозволяють контролювати технічний бік справи.

З погляду комерціалізації *інноваційні фірми* (старт-апи) у сфері нанотехнологій доцільно розділити на шість великих груп, відповідно до галузі наукових інтересів і додатків: наноматеріали та їхня обробка; нанобіотехнології; наноелектроніка; нанофотоніка; інструментальна база нанотехнологій; нанопроєкти в галузі програмного забезпечення (табл. 3.5) [10, с. 91 – 92].

Завдання полягає не в тому, щоб побудувати бізнес, який підходить для нанотехнологій, а в тому, щоб створити нанотехнології, які підходять для бізнесу.



## Напрямки комерціалізації нанотехнологій з погляду інноваційних фірм

№ з/п	Галузь наукових інтересів і застосувань	Досягнуті успіхи	Перспективні напрямки
1	2	3	4
1	Наноматеріали	Безліч матеріалів уже випускається комерційно, тому що нові матеріали значно перевершують існуючі за найважливішими характеристиками (міцність, опір навантаженням і «дряпанню», високі коефіцієнти електро- і теплопровідності, зносостійкості тощо)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Розширення виробництва;</li> <li>▪ розвиток методів обробки або застосування нових матеріалів виходячи з незвичайних властивостей і можливостей</li> </ul>
2	Нанобіотехнології	Застосування нанотехнологій до біологічних систем: нові методи терапії, спрямована доставка ліків в організмі, діагностичні датчики й т. п.	Принципово нові напрями, пов'язані з молекулярною біологією: детектування й вивчення генів, білків, фрагментів ДНК, окремих молекул і т. ін.
3	Наноелектроніка	Створено безліч устроїв із зовсім новими функціональними особливостями, які значно перевершують існуючі за ціною й найважливішими технічними характеристиками: дуже низьке енергоспоживання ( $\approx$ наноВатт), виключна щільність монтажу ( $\approx 1$ трлн елементів/см <sup>2</sup> ) і надвисока швидкодія (частота перемикання $\approx 1$ тераГц).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Логічні елементи з великою кількістю станів;</li> <li>▪ багатобарвні фотовипромінюючі діоди з високим квантовим виходом;</li> <li>▪ енергонезалежні запам'ятовувальні устрої;</li> <li>▪ лазери на квантових точках;</li> <li>▪ датчики універсального типу й т. ін.</li> </ul>
4	Нанофотоніка	Використання нанотехнологій і наноматеріалів для випуску оптичних пристроїв з високим ступенем інтеграції, що працюють на парціальних хвилях, а також застосування таких пристроїв у сполученні з МОП-структурами, що виробляються комерційно. Нові пристрої дозволяють поєднувати електронні й фотонні компоненти в одному чіпі за рахунок досить складних технологічних операцій	Швидка поява на ринку дешевих і високоефективних оптоелектронних пристроїв різного типу: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ перетворювачі довжин хвиль;</li> <li>▪ фільтри, що перебудовуються;</li> <li>▪ пристрої сполучення поляризації пучків;</li> <li>▪ мультиплексори, що перебудовуються;</li> <li>▪ оптичні прийомопередавачі й т. ін.</li> </ul>
5	Контрольно-вимірвальна апаратура для нанонауки	Прилади й інструменти, що дозволяють вивчати хімічний склад і будову речовини в необхідному діапазоні (значно нижче 100 нм) – мікроскопічна техніка: скануючі та трансмісійні електронні мікроскопи, атомносилові мікроскопи й т. ін.	Новітня техніка: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанолітографія;</li> <li>▪ атомні зондові мікроскопи, що дозволяють вивчати тривимірну структуру й атомарний склад твердих тіл і плівок</li> </ul>
6	Нанософтвеа (nanosoftware)	Хемінформатика (cheminformatics), пов'язана з моделюванням і розрахунком нових матеріалів	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Біоінформатика (bioinformatics) – спеціалізована розробка засобів вивчення й тестування нових біотехнологічних препаратів;</li> </ul>

Закінчення табл. 3.5

1	2	3	4
			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка архітектури електронних і фотонних пристроїв;</li> <li>▪ методи моделювання й автоматичної обробки даних по електронних структурах, квантове моделювання;</li> <li>▪ автоматичне управління приладами й мікроскопами, програми з обробки даних, отримуваних на приладах нового типу в нанотехнологічних дослідженнях</li> </ul>

Крім того, до особливостей, характерних для «молодих» технологій, варто віднести [11, с. 52]:

- необхідність розробки точної *вимірвальної апаратури*, систематизованої *програми випробувань* і погоджених *стандартів* на кількісні і якісні характеристики для зростаючого числа нових матеріалів із новими властивостями;
- рішення проблеми *безпеки використання* матеріалів і виробів невідомих раніше видів. Наприклад, стало ясно, що наночастки можуть безперешкодно проникати через усі захисні системи людського організму, включаючи шкіру й стінки судин кровоносної системи. Сьогодні постає питання про вивчення можливості токсичного впливу різноманітних наночастинок на організм і навколишнє середовище в цілому, а також законодавчого оформлення й вироблення суспільної позиції.

### 3.3. Перспективні комерційні нанопродукти та їх виробники

Сьогодні у світі існує вже близько 16 тисяч нанокомпаній, а до 2015 р., за прогнозами Національного наукового фонду США, підприємства, які стануть працювати у цій сфері, створять від 800 тис. до одного мільйона нових робочих місць. Так, наприклад, у Китаї у цій сфері працює близько 800 компаній і понад 100 науково-дослідних інститутів, більшість із яких орієнтовано на задоволення потреб оборонно-промислового комплексу КНР. У США на частку американських компаній, університетів і приватних осіб доводиться близько 40% всіх виданих у світі патентів у цій сфері, а число нановинаходів тут перевищує 3000 на рік [1, с. 20 – 22].

У табл. 3.6 перераховані деякі сучасні нанотехнологічні компанії США й продукція, що випускається ними [2, с. 262 – 264; 3, с. 169 – 170].

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Таблиця 3.6

#### Нанопродукція, що випускається деякими компаніями США і ЄС

№ з/п	Глобальна проблема	Продукція	Компанія
1	2	3	4
1	Депопуляція й старіння населення	Ідентифікація генів, молекулярна характеристика захворювань	Acadia Research Corp.
		Виробництво дендримерів, що мають широкий діапазон застосування (наприклад, медикаменти)	Dendritic NanoTechnologies, Inc.
		Дезінфікуючі наноемульсії для лікарень	EnviroSystems
		Наночастинки для візуалізації хвороб і терапевтичного лікування	Kereos Inc.
		Виявлення сибірської виразки	Nanolnk Inc.
		Візуалізація внутрішніх компонентів біологічних клітин із дозволом 50 нм (в інфрачервоному, видимому й ультрафіолетовому діапазоні)	Nanopoint
		Неінвазивна терапія на основі наноболонок	NanoSpectra Bio-sciences, Inc.
		Аналіз і виявлення нуклеїнових кислот і білків	Nanosphere
		Цільова доставка медикаментів за допомогою наночастинок	Nanotherapeutics, Inc.
		Виготовлення біосиліконових матеріалів для медичних цілей	pSivida Ltd
		Антибактеріальні панчохи з наночастинками срібла	ARC Outdoor
		Антиоксидантні креми й косметика	Zelen
2	Екологічні проблеми, захист навколишнього середовища	Очищення води наномасштабними фільтрами на основі йоду	Novation Environmental Technologies
3	Нова енергетика й вичерпання природних ресурсів	Надтонкі акумулятори	Front Edge
4	Перехід до нового технологічного укладу	Наноматеріали на основі титанату літію для феромагнітних шпинелей	Altair Nanotechnology Inc.
		Нанокристалічні й керамічні порошки для осадження й напилювання	Advanced Nano Products
		Наноматеріали й квантові точкові рішення	Applied Nanoworks
		Будівельні матеріали, що володіють водовідштовхувальними властивостями	BASF
		Комерційне виробництво вуглецевих нанотрубок і фулеренів	Carbon Nanotechnology, Inc.

Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
		Дрібні, наддрібні й нанорозмірні порошки	Cima Nanotech, Inc.
		Виробництво дендримерів	Dendritech, Inc.
		Виробництво полімерних нановолокон	eSpin Technologies
		Електронні матеріали; каталізатори для мембран паливних елементів	Intematix Corp.
		Полімерні матеріали	Lumera
		Металеві нанопорошки	Metal Nanopowders, Inc
		Нанопорошки й компоненти для акумуляторів, мембран, різних електричних деталей, фільтрів, каталітичних установок і т. ін.	MetaMateria Part-ners LLS
		Наночастки срібла, крейди, нікелю; нанооксиди; вуглецеві наноструктури	NanoDynamics
		Нові наноматеріали для елементів електросхем	NanoElectronics
		Хімічні сполуки для комп'ютерних чіпів	NanoGram Corp.
		Виробництво тонкоплівкових наноструктур	Nanohorizons
		Наноструктури для оптичних систем	NanoOpto
		Підготовка й комерційне виробництво нанопорошків оксидів металу	Nanophase Technologies
		Наномасштабні порошки, дисперсії й продукти на їхній основі	Nanoproducts, Inc.
		Гнучкі тонкоплівкові компоненти для електроніки, біоматеріалів і сонячних батарей	Nanosys, Inc.
		Нанотехнологічні тканини й покриття	Nano-Tex
		Наномасштабні оптичні компоненти	Neo Photonics Corp.
		Металеві нанокристалічні каталізатори	Nanox
		Електронне чорнило й цифровий папір	Ntera
		Аерогель	United Nuclear
		Нанооптичні компоненти	Neo-Photonics Corp.
		Оптичні наноінструменти для вивчення нанотрубок	Applied Nanofluore-scence, LLC
		Нанопінцети для маніпулювання наночастками	Arryx, Inc.
		Науково-дослідні й промислові інструменти для виміру наномасштабних характеристик: міцності, пружності, тертя, зношування й адгезії	Hysitron
		Інструменти для нанодруку в напівпровідниковій і електронній промисловості	Molecular Imprints
		Маніпулятори для нанотрубок, наноматеріали	Zyvex

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Закінчення табл. 3.6

1	2	3	4
		Електронні й оптоелектронні застосування	Molecular Electro-nics Corp.
		Інтелектуальна власність у галузі молекулярної електроніки	California Molecular Electronics Corp.
		Жувальна гумка Choco'La на основі нанометрових кристалів	O'Lala Foods
		Наноматеріали для гольф-клубів, тенісу й занять із м'ячем	Wilson

У табл. 3.7 наведено деякі продукти й матеріали, створені на основі нанотехнологій або наноматеріалів, що потрапили до списку десяти найпопулярніших нанопродуктів у 2005 р., на думку журналу *Forbes* [6, с. 310 – 311].

Таблиця 3.7

#### Десять нанопродуктів, найпопулярніших у 2005 р.

№ з/п	Продукт	Компанія
1	i Pod Nano із чипом пам'яті NAND 4 Гб	Apple Computer
2	Canola Active – підвищує абсорбцію фітохімікатів і знижує рівень холестерину	NutraLease/Shemen
3	Жувальна гумка Choco'la	O'Lala Foods
4	Антиоксидантний крем Fullercne 3-60	Zelen
5	Бейсбольна битка Easton Stealth на основі вуглецевих нанотрубок	Easton Sports & Zyvex
6	Водовідштовхувальна й брудостійка тканина на основі нановолокон	Nanotex
7	Антибактеріальні панчохи Arctic Shield	ARC Outdoor
8	Водовідштовхувальна й міцна фарба NanoGuardPaint	Behr Paints
9	Самоочисне покриття Activ Glass	Pilkington
10	Очисник повітря NanoBreeze Air Purifier	NanoTwin Technologies

У табл. 3.8 наведено характеристики деяких нанопрепаратів для моторного масла [12, с. 279 – 280], а у табл. 3.9 – перелік препаратів безрозбірного сервісу автомобілю на основі наноматеріалів, які є у відкритому продажу [12, с. 295 – 296].

На думку провідних світових експертів, до 2015 р. ринок нанотехнологічних продуктів стане величезним. У табл. 3.10 перераховані найбільш імовірні продукти, виконані із застосуванням нанотехнологій, у недалекому майбутньому [6, с. 318 – 320].

Таблиця 3.8

**Характеристики деяких нанопрепаратів для моторного масла**

№ з/п	Препарат	Виробник	Призначення	Склад, коментарі
1	Lubriform Diamond Run In	Actex S.A., Швейцарія	Прискорене і якісне припрацювання деталей після ремонту агрегатів	Склад на основі ультрадисперсних алмазів
2	Nano-diamond Green Run	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія, м. Зеленоград	Прискорене і якісне припрацювання партертя після ремонту і для нових автомобілів	Склад на базі неабразивних наноалмазів (4 - 6 нм) і кластерного вуглецю
3	Fenom Old Chap	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія, м. Зеленоград	Відновлення рухомості поршневих кілець, зниження інтенсивності зносу, коефіцієнту тертя, витрат палива, мастил тощо.	Синтетична основа, нанорозмірні комплекси органосорбенту, одержані за зольгель-технологією
4	Renom Engine NanoGuard	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія, м. Зеленоград	Підвищення ресурсу і покращення енергоекономічних показників двигуна, утворення наноструктурованої захисної плівки (твердої змазки)	Дисперсія неабразивних наноалмазів і наночастинок політетрафторетилену в складних поліефірах, антиоксиданти
5	Forsan nanopceramics	ВАТ «Нано-пром», Росія м. Москва	Безрозбірне відновлення з'єднань двигуну, зниження тертя і зносу	Металокерамічний комплекс на основі серпентину
6	Стрибойл	НТЦ«Конверс Ресурс», Росія, м. Москва	Покращення технічних характеристик, зниження шкідливих викидів двигуну	Нанодисперсний антифрикційний протизносний склад
7	RemeTall	Fine Metall Powders, Росія, м. Новосибірськ	Відновлення і захист від зносу поверхонь, що труться, підвищення ресурсу двигуну	Нанодобавка на основі нанопорошків металів
8	Супротек-Атомімум	ТОВ «НПТК СУПРОТЕК», Росія, Санкт-Петербург	Безрозбірне відновлення і захист від зносу поверхонь, що труться, зниження шкідливих викидів	Нанодобавка до мастильних матеріалів на основі різних наночастинок
9	Формула АВ	ТОВ НВП SintA, Україна, Харків	Захисні та відновлювальні добавки до мастильних матеріалів	Ультрадисперсні алмази в мастильних матеріалах

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Таблиця 3.9

#### Препарати безрозбірного сервісу автомобілю на основі наноматеріалів

№ з/п	Найменування	Виробник, країна	Призначення
1	2	3	4
Паливні нанопрепарати			
1	Fenom NanoTuning	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія	Тюнінг бензину
2	Fenom Diesel Injector Nanocleaner	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія	Очищувач форсунок дизельного двигуна
3	Fenom Injector Nanocleaner	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія	Очищувач інжектору бензинового двигуна
4	Fenom Catalytic Converter Nanocleaner	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія	Очищувач нейтралізатору відпрацьованих газів
Нанополіролі для лакофарбувального покриття (ЛКП)			
1	Fenom Lucky Bee Nanocrystal wax	ТОВ НПФ «Лабораторія триботехнології», Росія	Універсальна автополіроль ЛКП
2	Nanox Carnauba Polish	Doctor Wax, США	Поліроль з воском карнауба
3	Diamant-Polish	Pingo GmbH, Німеччина	Алмазна поліроль ЛКП
4	Kfz-Lackversiegelung SET je 75 ml	SVM Service Vertrieb & Marketing, Німеччина	Нанопакет для ЛКП
5	Res-bona AI1 Auto-Lak	Res-bona Group Partner Nanotechnologie proNANOtec, Німеччина	Нанопродукт для ЛКП
Нанопрепарати для заскління автомобілю			
1	Nanox	Doctor Wax, США	Очищувач скла
2	Kfz-Glasversiegelung SET je 100 ml	SVM Service Vertrieb & Marketing, Німеччина	Нанопакет для скла
3	Res-bona AVG1 (Auto-Glas)	Res-bona Group Partner Nanotechnologie proNANOtec, Німеччина	Нанопродукт для скла
4	Rainstop-Kit	Nanokit BV, Нідерланди	Покриття, що самоочищується (набір)
5	NanoConcept Autoglasversiegelung SET 30	NanoConcept Hofmann & Bucher GbR, Нідерланди	Наноккомплект для скла
Нанопрепарати для автомобільних колес			
1	Nanox	Doctor Wax, США	Очищувач-кондиціонер для шин
2	Felgenversiegelung SET je 250 ml	SVM Service Vertrieb & Marketing, Німеччина	Нанопакет для колесних дисків
3	Res-bona AFV1	Res-bona Group Partner Nanotechnologie proNANOtec, Німеччина	Нанопродукт для колесних дисків
4	NanoConcept Felgenreiniger sauer 250	NanoConcept Hofmann & Bucher GbR, Нідерланди	Нанопродукт для колесних дисків

Закінчення табл. 3.9

1	2	3	4
Нанопрепараты для обработки текстиля и кожи			
1	Nanox	Doctor Wax, США	Очищувачі шкіри, оббивки тощо
2	Res-bona TL1	Res-bona Group Partner Nanotechnologie proNANOtec, Німеччина	Нанопродукт для тканин і шкіри
3	Textile coating	Nanokit BV, Нідерланди	Обробка текстилю
4	NanoConcept Fleckenentferner 250	NanoConcept Hofmann & Bucher GbR, Нідерланди	Плямобивавлювач

Таблиця 3.10

**Перспективні майбутні продукти, виконані із застосуванням нанотехнологій**

№ з/п	Глобальна проблема	Продукт	Опис
1	2	3	4
1	Депопуляція й старіння населення	Програмовані ліки усередині організму	Доза й час уведення ліків за командою
		Клітинна терапія	Ідентифікація й лікування захворювань на рівні клітини
		Зволожувач шкіри, що усуває зморшки	Автоматичне згладжування зморшок
		Програмувальні гігієнічні засоби	Гігієнічні засоби для видалення бруду, жирів і поту без необхідності прийому душу
		Контактні лінзи для віртуальної реальності	Для поліпшення систем керування (у тому числі комп'ютерних ігор)
		Повноцінна віртуальна реальність	Оточення, що імітує ситуацію для всіх органів почуттів: зору, слуху, дотику й т. ін.
		Комп'ютери, що імплантуються	Комп'ютер, що завжди з тобою
		Перекладачі, що імплантуються	Перекладач, що завжди з тобою
		Самонастроювальний спортивний інвентар	Автоматичне припасування спортивного спорядження під спортсмена
		Самонастроювальні крісла	Припасування форми крісла під фігуру людини
		Програмувальні засоби з догляду за одягом	Одяг з матеріалів, які здатні автоматично видаляти бруд
Чутливий до температури одяг	Одяг з матеріалів, які здатні автоматично змінювати теплопровідні властивості, наприклад, щільність розташування волокон залежно від зовнішньої температури		
Наручні годинники й термометри у вигляді тонкого, як фарба, покриття	Миттєве одержання інформації; більше не потрібно буде боятися втрати годинника		



### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4
2	Екологічні проблеми, захист навколишнього середовища	Автоматичні поглиначі коливачь будинків	Запобігання жакливих наслідків землетрусів і ураганів
3	Нова енергетика й вичерпання природних ресурсів	Вікна й стіни із прозорістю, що змінюється	Зміна прозорості для регулювання рівня освітленості й економії енергії
		Вікна й стіни з формою, що змінюється	Зміна об'єму кімнат за командою
		Стіни, які можна проходити наскрізь	Зміна механічного спротиву стін за командою
		Програмувальні кімнати	Зміна конфігурації квартири й інтер'єру за командою
4	Перехід до нового технологічного укладу	Настінні екрани	Поліпшення телебачення й відеоігор
		Настінні акустичні колонки	Поліпшення звукових систем, телебачення й відеоігор
		Програмувальна фарба	Зміна кольору й візерунка за командою
		Перепрограмувальні книги	Зміна змісту й виду книг за командою
		Настільні ігри з великою деталізацією	Створення реальних стратегічних ігор за аналогією з комп'ютерними стратегіями
		Повторно використовуваний папір і тканини	Зміна кольору й візерунка
		Самонастроювальні фарби для настільних ігор	Припасування розміру й форми гравального поля під будь-яку поверхню
		Самозагострювальні ножі	Застосування наночасток, що утворюють абсолютно гострий край
		Самоочисні ванни	Покриття, на які не прилипає бруд
		Самоскладальні повномасштабні продукти	Повний цикл самоскладання – від креслення до продукту
		Програмувальні затвори	Відкриття й закриття затвору за командою
		Програмувальні форми й штампи	Для створення деталей з різних матеріалів – від бетону до пластмас
		Програмувальні презентаційні дошки	Зроблені спеціальною ручкою написи автоматично зчитуються комп'ютером
		Програмувальні голограми	Візуалізація за командою
		Конструкційні матеріали, що самодіагностуються	Автоматично визначають свій стан, прикладене навантаження, зношування й структурну цілісність
Протиударні й антикорозійні покриття	Для підвищення зносостійкості транспортних засобів, двигунів й інструментів		

Закінчення табл. 3.10

1	2	3	4
		Чутливі шини	Змінюють форму й властивості відповідно до навантаження та подорожних умов
		Розумні бампери	Змінюють форму (наприклад, збільшуються) при раптовому наближенні до перешкоди
		Космічний ліфт	Доставка вантажів у космос

Таким чином, нанотехнології значно відрізняються від інших «хвиль» технічного прогресу. Перш за все, нанотехнології пов'язані з суттєвою зміною парадигм розвитку, тому створюють не тільки нові товари, але й нові потреби або ринки, одночасно обіцяючи суттєво скоротити вартість товарів і підвищити їхню якість. Багато запланованих ідей нанотехнологій може мати велику кількість застосувань, що природньо, створює складності для інвесторів [17, с. 94]. Скоріш за все, через якийсь час інвестори і юристи зможуть розібратись із проблемою «багатозначності» досягнень нанонауки і вироблять певну модель розвитку, розділивши права інтелектуальної власності у цій області на «ядро» ідеї і можливі застосування, які дозволяють створювати нові продукти. У будь-якому випадку практика приведе до відпрацювання певної моделі бізнесу на біржі, що відповідає особливостям нанотехнологічних інновацій і бажанням інвесторів розширити рамки їх можливого застосування і комерціалізації.

#### 3.4. Прогноз розвитку ринку нанотехнологій

На думку старшого аналітика в галузі нанотехнологій Національного наукового фонду США Михайла Роко, *пік інтенсивності наукових досліджень у сфері нанотехнологій був досягнутий в 2010 р., а їхнє великомасштабне впровадження* відбудеться приблизно в 2015 р. На його думку, найбільш перспективними будуть *обчислювальна техніка й фармакологія*. Фахівці цього фонду також спрогнозували, що якщо загальний ринок нанотехнологій у 2006 р. оцінювався приблизно у 300 млрд дол. США, то у 2015 р. ринок нанопродуктів і нанотехнологій досягне величини 1,5 трлн дол. США на рік. А аналітики агентства «*Lux Reseach*» у 2005 р. пророчили, що ефект від впровадження нанопродуктів і нанотехнологій до 2015 р. буде дорівнювати 2,5 трлн дол. США [6, с. 298].

У 2004 р. обсяг фінансування робіт в галузі нанотехнологій у світі оцінювався в розмірі 8,6 млрд дол. США [5, с. 50]:

- у США урядова підтримка складала 1,6 млрд дол. США, фінансування компаніями – 1,7 млрд дол. США;

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

- у країнах Євросоюзу урядова підтримка – 1,3 млрд дол. США, фінансування компаніями – 0,7 млрд дол. США;
- у країнах Азії урядова підтримка – 1,6 млрд дол. США, фінансування компаніями – 1,4 млрд дол. США.

На 2005 – 2009 рр. для розвитку нанотехнологій США виділили 3,5 млрд дол., Євросоюз – 2 млрд дол., а за останні кілька років у число провідних нанодержав також увійшов і Китай [16].

У 2008 р. у світі було продано товарів, створених з використанням нанотехнологій, на суму в 100 млрд доларів. У сфері нанотехнологій працювало близько 4000 компаній і науково-дослідних організацій у сфері обслуговування й близько 2000 організацій, що випускають нові продукти [6, с. 320]. За приблизними оцінками, розподіл ринку нанотехнологій у цілому має такий вигляд: США – 40 – 45%, Японія – 25 – 30%, Європа – 15 – 20%, Азія – 5 – 10%.

Прогноз обсягів ринку нанотехнологій (на основі різних джерел) наведено у табл. 3.11 [12, с. 59].

Таблиця 3.11

Прогноз обсягів ринку нанотехнологій

№ з/п	Експертний орган	Прогнозований період	Обсяг ринку, трлн дол. США
1	Єврокомісія	2010	0,80
2	Kamei	2010	0,15
3	Mitsubishi Institute	2010	0,15
4	CNP Cientifica	2012	2,00
5	National Science Foundation, USA	2015	1,50
6	Lunkett Research	2012 – 2015	1,00
7	Lux Research	2014	2,50
8	US Nanobusiness Alliance	2015	1,00
9	Уряд РФ	2017	0,30

Як видно з табл. 3.11, прогнози значно відрізняються: від зростання до 1 трлн доларів США до помітного скорочення ринку нанотехнологій у світовому масштабі. Це пов'язано, *по-перше*, зі світовою кризою, а *по-друге*, з позицією Європарламенту з питання застосування нанотехнологічної продукції в косметичній галузі й у медицині, де саме спостерігаються найбільш високі обсяги виробництва й продажів.

Так, наприклад, особливо швидко протягом найближчих 10 – 15 років розвиватимуться перераховані у табл. 3.12 сектори ринку [13, 14].

Таблиця 3.12

**Прогноз ринку нанотехнологій у різних галузях економіки в найближчі 10 – 15 років**

№ з/п	Галузь	Основна продукція, позитивний ефект	Обсяг ринку, млн дол. США
1	Промисловість	Матеріали з високими заданими характеристиками, які не можуть бути створені традиційним способом	340,0
2	Електроніка й напів-провідникова промисловість	Нанотехнологічна продукція	300,0
3	Фармацевтична галузь	Майже половина всієї продукції буде залежною від нанотехнологій	300,0
4	Хімічна промисловість	Наноструктурні каталізатори, застосовувані при виробництві бензину й в інших хімічних процесах	180,0
5	Транспорт	Більш легкі, швидкі, надійні й безпечні автомобілі. Авіакосмічні продукти	70,0
6	Енергетика й захист оточуючого середовища	Забезпечення більш економічних способів фільтрації води. Прискорення розвитку поновлюваних джерел енергії (наприклад, високоефективної конверсії сонячної енергії). Це дозволить знизити забруднення навколишнього середовища й зекономить значні кошти: споживання енергії у світі може бути знижене на 10%, що дасть загальну економію 100 млрд дол./рік і допоможе скоротити шкідливі викиди вуглекислого газу в розмірі 200 млн т	–
7	Охорона здоров'я	Збільшення тривалості життя, поліпшення його якості й розширення фізичних можливостей людини	–
8	Сільське господарство	Збільшення врожайності сільськогосподарських культур	–

Поєднуючи прогнози, складені фахівцями з промислового розвитку й тенденцій зміни ринку, були одержані оцінки на майбутнє по різних видах товарів, послуг і стану ринку.

Так, у результаті виконаних прогнозів фахівців ІСДЕЗ (Росія), консалтингової компанії Lux Research (США), Асоціації незалежних дослідницьких інститутів (Association of Independent Research Institutes, Великобританія), Центра нанотехнологій (Nanotec IT, Італія) і ін., а також на підставі матеріалів дорожніх карт розвитку нанотехнологій (Roadmaps at 2015 on nanotechnology application in the sectors of materials, health&medical systems, energy, 2006) виділяють три основні етапи розвитку і появи поколінь нанорозробок (табл. 3.13) [12, с. 361 – 363].

**Основні етапи розвитку й появи поколінь нанорозробок**

№ з/п	Етап	Назва	Характеристика
1	Перший етап, 2000 – 2005 рр.	«Пасивні наноструктури» (інкрементні нанотехнології)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виробництво й застосування нанодисперсних порошків, які з метою модифікації властивостей базових матеріалів уводили в різні конструкційні матеріали: метали й сплави, полімери й кераміку, а також додавали в ліки, косметику, їжу й інші вироби.</li> <li>2. Це досить примітивне покоління наноматеріалів уже широко освоєно виробництвом і застосовується в багатьох товарах народного споживання.</li> <li>3. Лише деякі нанорозробки знайшли своє застосування у високотехнологічних галузях промисловості</li> </ol>
2	Другий етап, 2005 – 2015 рр. Два періоди: (2005 – 2015);  (2010 – 2015)	«Еволюційні нанотехнології» Два періоди: «активні наноструктури»; «системи наносистем»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Прорив у галузі нанотехнологічної інноваційної діяльності.</li> <li>2. Створення компонентів наноелектроніки, фотоніки, нанобіотехнологій, медичних товарів і обладнання, нейроелектронних інтерфейсів і наноелектромеханічних систем (НЕМС).</li> <li>3. Значне зниження ролі первинних наноматеріалів (пасивних наноструктур).</li> <li>4. Розширене застосування нанобіотехнологій у фармацевтичній промисловості (до 23%) і косметичній галузі.</li> <li>5. Нанотехнології будуть використовуватися у всій (100%) комп'ютерній і радіоелектронній техніці, у 85% побутової та автомобільної техніки.</li> <li>6. Початок переходу до керованого самоскладання наносистем, створення тривимірних мереж, нанороботів і т. п. Створення прототипів (у лабораторних умовах)</li> </ol>
3	Третій етап, після 2020 р.	«Молекулярні наносистеми» (радикальні нанотехнології)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Молекулярні устрої, атомний дизайн і т. ін.</li> <li>2. До 2040 р. буде вдосконалено «універсальний реплікатор», заснований на нанотехнологіях, який дозволяє створювати об'єкт будь-якої складності за наявності сировини й інформаційної матриці.</li> <li>3. Повна трансформація промисловості й сільського господарства, поява кіборгів, розвиток мистецтва, розваг, освіти</li> </ol>

У табл. 3.14 представлено загальний прогноз розвитку нанотехнологій у коротко-, середньо- і довгостроковій перспективах, зроблений засновником великих венчурних фірм, великим і авторитетним експертом у нових технологіях, інноваційній політиці й організації нових виробництв у США Стівом Джарветсоном [10, с. 84 – 85].

Таблиця 3.14

**Прогноз розвитку ринку нанотехнологій по тимчасових періодах**

№ з/п	Період прогнозування	Основні технології й продукти
1	Короткостроковий (швидке отримання прибутку)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виготовлення інструментів і деяких нових матеріалів (порошки, композити) на основі нанотехнологій. Деякі компанії вже сьогодні організували такі виробництва й стають дохідними.</li> <li>2. Виробництво одновимірних хімічних і біологічних датчиків, портативних медичних і діагностичних устроїв.</li> <li>3. Початок виробництва мікроелектромеханічних устроїв (MEMS)</li> </ol>
2	Середньостроковий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Початок виробництва двовимірних наноелектронних пристроїв (запам'ятовувальні пристрої, дисплеї, сонячні батареї).</li> <li>2. Поява ієрархічно структурованих наноматеріалів і освоєння біомолекул у нанотехнологічних процесах.</li> <li>3. Ефективне використання нанопристроїв для акумулювання й перетворення енергії.</li> <li>4. Розвиток методів пасивної доставки ліків в організмі й діагностики. Виробництво медичних нанопристроїв, що імплантуються</li> </ol>
3	Довгостроковий	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розвиток тривимірної електроніки.</li> <li>2. Розвиток наномедицини. Розробка штучних хромосом.</li> <li>3. Використання квантових комп'ютерів для розрахунку характеристик молекул і інших наноб'єктів.</li> <li>4. Початок масового виробництва нанотоварів</li> </ol>

Крім того, відомий японський інститут «Хітаті Сокен», який було створено фірмою Хітаті для проведення робіт з вироблення стратегії, планування досліджень і прогнозування науково-технічного розвитку окремих галузей, наукових напрямків і навіть цілих країн і регіонів, підготував дані щодо стану і перспектив розвитку й комерційного використання нанотехнологій, що наведені у табл. 3.15 [15, с. 97 – 100].

Таблиця 3.15

**Стан і перспектива розвитку ринку послуг і товарів, пов'язаних з нанотехнологіями**

№ з/п	Сектори майбутнього ринку товарів і послуг	Передбачуваний рік впровадження	Товари й матеріали, виготовлені з використанням нанотехнологій
1	2	3	4
1	Біологія, медицина	2000	Рідкі наноматеріали для охолодження атомних реакторів
		2003	Розвиток загальних методів моделювання наносистем
		2007	Розвиток загальних методів аналізу й моделювання полімерних сіток

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Продовження табл. 3.15

1	2	3	4
		2010	Система «адресної» доставки ліків в організм
		2012	Біоматеріали
		2013	Біологічні мікродвигуни
2	Сільське господарство	2006	Біологічні пестициди
3	Охорона навколишнього середовища, енергетика	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Матеріали для автомобілебудування;</li> <li>▪ нові оптичні наноматеріали;</li> <li>▪ термоелектричні перетворювачі з високим ККД</li> </ul>
		2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Акумулятори водню;</li> <li>▪ паливні батареї для автомобілебудування;</li> <li>▪ паливні батареї</li> </ul>
		2004	Біодатчики
		2005	Сонячні батареї з високим ККД
		2007	Наноробототехніка
		2011	Біосумісні неорганічні матеріали
		2012	Технологія зв'язування CO <sub>2</sub>
		2013	Технологія розкладання фреонів
		2014	Високоєфективні розділові мембрани
		Після 2017	Штучний фотосинтез
Після 2025	Нанофільтри для поділу ізотопів		
4	Матеріали й методи їхньої обробки	2000	PDP; виробництво вуглецевих нанотрубок і фулеренів
		2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Гнучкі дисплеї з органічних матеріалів;</li> <li>▪ наностекла;</li> <li>▪ магнітне середовище для запису з надвисокою щільністю</li> </ul>
		2004	Устрої зі надщільним компонуванням
		2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Високоєфективні фотонні перетворювачі;</li> <li>▪ нанодропи;</li> <li>▪ волокна з вуглецевими нанотрубками;</li> <li>▪ нові сорти сталі (з підвищеною міцністю, термостійкістю, корозійною стійкістю й т. ін.)</li> </ul>
		2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанокристалічні оптичні пристрої;</li> <li>▪ надпровідники</li> </ul>
		2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ «Синергичні» керамічні матеріали;</li> <li>▪ «регульовані» оптичні волокна (з мінливою структурою)</li> </ul>
		2010	«Високоенергетичні» матеріали (біомиметики)

Закінчення табл. 3.15

1	2	3	4
5	Виміри, обробка, моделювання	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Швидкісна вимірювальна апаратура з високим дозволом;</li> <li>▪ інформаційні термінали нового типу;</li> <li>▪ напівпровідникові пристрої нового типу (ТСАД);</li> <li>▪ мікромашини й мікродвигуни</li> </ul>
		2003	Наноласери
		2005	Використання наддалекого УФ-випромінювання
		2006	Надточна обробка поверхні
		2008	Біологічні й медичні наносистеми
		2011	Нанокомп'ютери
		Після 2016	Біокомп'ютери
6	Інформаційні технології, електроніка	2000	Метод ALCVD
		2005	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нові методи літографії;</li> <li>▪ оптичний зв'язок (фотоніка, хвилеводні пристрої);</li> <li>▪ радіозв'язок (надширокопasmові пристрої);</li> <li>▪ використання нанотехнологій в пристроях типу Пасокоп;</li> <li>▪ контрольовано-вимірювальне встаткування з використанням СЕМ;</li> <li>▪ тривимірні БІС (МОП-транзистори із тривимірною структурою);</li> <li>▪ одноелектронні запам'ятовувальні пристрої;</li> <li>▪ пристрої з вуглецевими нанотрубками</li> </ul>
		2007	«Розумні» біодатчики; лабораторії-на-чипі
		2010	Наноустрої у фотониці
7	Авіація, космічна техніка	2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нові матеріали для авіаційної промисловості;</li> <li>▪ нові матеріали для космічної техніки</li> </ul>

Результати оцінок обсягів ринку (японського й світового) нанотехнологічних матеріалів, виробів, послуг представлені у табл. 3.16 [15, с. 101 – 102].

Таблиця 3.16

**Стан і перспективи комерціалізації нанотехнологічних досліджень (млн дол.)**

№ з/п	Сектори майбутнього ринку товарів і послуг	Галузь нанотехнології	Світовий ринок				Ринок Японії			
			2005		2010		2005		2010	
			усього	частка, %	усього	частка, %	усього	частка, %	усього	частка, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Біологія, медицина	Науки про життя (біологія, медицина)		7,1		2,9		3,7		1,5



### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Закінчення табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Сільське господарство	Виробництво добрив		0,6		0,1		0,4		0,1
3	Охорона навколишнього середовища, енергетика	Охорона навколишнього середовища, енергетика		5,7		4,6		4,8		5,8
		Техніка зв'язування CO <sub>2</sub>		2,5		4,1		2,9		5,4
		Контроль навколишнього середовища		3,2		0,5		1,9		0,4
		Біологічні нанодатчики		–		0,1		–		0,1
		Технології для атомної промисловості		–		–		–		–
4	Матеріали й методи їхньої обробки	Обробка матеріалів (нові пристрої й елементи)		16,3		31,3		20,0		32,6
		Механічна обробка на нанорівні		11,3		1,9		24,9		4,7
5	Вимірювання, обробка, моделювання	Вимірювання, розрахунки й моделювання		13,1		3,9		26,7		7,8
		Зондова вимірювальна техніка		0		0,9		0		1,3
		Моделювання високої точності		1,8		1,1		1,8		1,8
6	Інформаційні технології, електроніка	Інформаційні технології, електроніка		27,1		50,6		38,8		50,7
		Напівпровідникова техніка		2,7		20,1		4,0		21,6
		Пристрої для зберігання інформації		–		3,9		–		11,1
		Сітьові пристрої		24,4		8,1		34,8		8,5
		Інші		–		18,4		–		9,4
7	Авіація, космічна техніка	Авіаційна й космічна техніка (літаки, ракети)		30,1		6,6		5,6		1,5
	Усього		80,1	100	1089,8	100	19,32	100	243,3	100

Інша класифікація секторів ринку нанопродуктів, представлена російськими фахівцями [2], дозволила провести аналіз обсягів продажів первинних нанопродуктів на світовому ринку у 2009 р., який склав 22,7 млрд дол. При цьому криза скоротила продажі на 16% відносно до передкризових обсягів у 27,9 млрд дол. Основний обсяг ринку сформували продажі наноматеріалів (10,1 млрд дол.), серед секторів – «Обробна промисловість» (4,0 млрд дол.), «Енергетика» (3,9 млрд дол.), «Медицина і біотехнологія» (2,6 млрд дол.), а також «Спеціальне обладнання і приладна база» (2,6 млрд дол.). З урахуванням динаміки, що складається, рейтинг секторів за обсягами продажів та в найближчій перспективі у 2009 – 2014 рр. збережеться (див. табл. 3.17 [2, с. 61], при цьому найбільше зростання очікується в електронній промисловості, що, можливо, перемістить цей сектор з останньої рейтингової позиції.

Таблиця 3.17

**Рейтинг секторів світового ринку нанопродуктів за обсягами продажів у 2014 р. (млн дол.) і за темпами росту у 2009 – 2014 рр. (%)**

№ з/п	Сектор ринку нанопродуктів	Обсяг продажів у 2014 р., млн дол. США	Середньорічне зростання у 2008 – 2014 рр., %
1	Наноматеріали	16 702,9	10,6 (3)
2	Обробна промисловість та інші застосування	6 396,4	10,1 (4)
3	Енергетика	6 028,6	9,2 (5)
4	Медицина і біотехнології	4 642,3	12,1 (2)
5	Електроніка і ІКТ	1 750,8	26,2 (1)
	Усього	35 521,0	

Вартість реалізованих споживчих товарів з використанням нанопродуктів і (або) нанотехнологій більше продажів первинних нанопродуктів практично у 35 разів і складає 773,5 млрд дол. Такий розрив пояснюється існуючою практикою повного врахування (іноді абсурдного) вартості всього споживчого продукту при визначенні вартості нанопродукту. В результаті загальна фактична ємність світового ринку нанопродуктів у 2009 р. (з урахуванням повної вартості споживчої продукції) досягла величини у 797,2 млрд дол. Основна частина реалізованих споживчих нанопродуктів представлена в автомобілях, електричних та електронних товарах, продуктах харчування і напоях, у побутовій хімії, фотографії і оптиці. У табл. 3.18 наведено рейтинг світового ринку споживчих товарів, вироблених з використанням нанотехнологій, за обсягами продажів у 2014 р. (млрд дол.) та в найближчій перспективі у 2009 – 2014 рр. (%) [2, с. 63].

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

Таблиця 3.18

**Рейтинг секторів світового ринку споживчих товарів, вироблених з використанням нанотехнологій, за обсягами продажів у 2014 р. (млрд дол.) і за темпами зростання у 2009 – 2014 рр. (%)**

№ з/п	Сегмент ринку споживчих товарів	2009 р., млрд дол.	2009 р., %	2014 р., млрд дол.	2014 р., %	Середньорічне зростання у 2008 – 2014 рр., %
1	Легкові автомобілі	667,8	86,3	755,6	81,8	3,2 (7)
2	Електричні і електронні товари	57,75	7,5	102,45	11,1	12,4 (3)
3	Продукти харчування і напої	21,65	2,8	28,4	3,1	6,0 (6)
4	Побутова хімія	10,17	1,32	14,7	1,6	8,0 (4)
5	Фотографія і оптика	9,85	1,3	13,7	1,5	7,2 (5)
6	Тканини і одяг	5,2	0,7	6,85	0,7	6,0 (6)
7	Засоби особистої гігієни	1,0	0,1	2,3	0,2	17,0 (2)
8	Спортивні товари	0,01	0,001	0,14	0,01	69,3 (1)
Усього		773,5	100,001	924,1	100,01	4,2
Усього без урахування легкових автомобілів		105,7		168,5		10,1

У табл. 3.19 наведено порівняльну структуру і динаміку секторів у розрізі ринкових сегментів у 2009 р. і у 2014 р. (за прогнозними оцінками) [2, с. 64 – 65].

Таблиця 3.19

**Структура і динаміка секторів у розрізі ринкових сегментів у 2009р. і 2014р**

№ з/п	Сегмент	Обсяг у 2009 р., млн дол.	Обсяг у 2014 р., млн дол.	Середньорічне зростання у 2008 – 2014 рр., %
1	2	3	4	5
Сектор «Наноматеріали»				
Усього, в тому числі		10112,8	16702,9	10,6
1	Нанорозмірні тонкі плівки	6591,2	9060,8	25,2
2	Тверді наночастинки	1792,7	3693,3	14,6
3	Наноструктурні монолітні матеріали	1391,6	2207,2	9,8
4	Нанокомпозити	336,3	1072,7	7,1
5	Нанотрубки та інші полі наночастинки	0,95	669,0	-

Закінчення табл. 3.19

1	2	3	4	5
Сектор «Медицина і біотехнології»				
Усього, в тому числі		2577,1	4642,3	12,1
1	Медичні дослідження, клінічна діагностика, медичні прилади	267,5	1260,1	32,4
2	Фармацевтичні препарати і лікарські сполуки	1497,3	2266,4	8,9
3	Продукти кінцевого споживання	812,3	1115,9	7,0
Сектор «Енергетика»				
Усього, в тому числі		3878,6	6028,6	9,2
1	Виробництво синтетичного вуглеводного палива	0,0	8,0	-
2	Перетворення сонячної енергії	0,01	16,9	359,2
3	Виробництво етанолу	716,0	1265,1	11,8
4	Переробка нафтопродуктів	3003,0	3930,6	6,0
5	Паливні елементи	63,97	187,8	23,3
6	Батареї та інші акумулятори енергії	0,0	405,0	-
7	Перенесення і розподіл енергії	95,5	179,03	13,4
8	Світлодіоди	0,0	36,0	-
9	Виробництво водню	0,09	0,2	14,4
Сектор «Електроніка і ІКТ»				
Усього, в тому числі		528,5	1750,8	26,2
1	Електроніка	445,8	1537,4	18,0
2	Магнітні матеріали	61,0	31,0	-14,6
3	Оптоелектроніка	21,6	182,4	53,3
Сектор «Обробна промисловість та інші застосування»				
Усього, в тому числі		4006,0	6396,3	10,1
1	Нанодатчики	308,0	435,2	23,8
2	Нанокаталізатори	3264,2	4567,8	6,6
3	Нанокompозити	268,1	677,2	20,0
4	Інші застосування	165,8	716,2	32,7

З табл. 3.19 видно, що у прогнозованому періоді з 2009 до 2014 р. [25]:

- продажі сектора «Наноматеріали» у вартісному відношенні зростуть більше, ніж у 1,5 рази (з 10,1 млрд дол. до 16,7 млрд дол.); середній темп росту сектора у складних відсотках складе 10,6%, а з найбільшим темпом – 25,2% – буде розвиватись сегмент «Нанокompозити». За кількістю наноматеріалів, що знаходяться в розробці, домінують полінано-частинки і нанокompозити, які у найближчій перспективі перехоплять лідерство у нанорозмірних плівках, що домінують сьогодні серед лідерів продажів (65%);
- сектор «Медицина і біотехнології» характеризується достатньо довготривалим періодом виведення на ринок нових продуктів. Перш за все, це пов'язано з проведенням багаторічних випробувань, а також складними процедурами реєстрації компонентів лікарських препаратів і медичного обладнання. Тому багато з потенційних застосувань у фармацевтиці, біомедицині й медичному обладнанні, які відомі на даний момент, навряд чи стануть комерційно доступними у найближчий час. Тим не менше, вже сьогодні ринкові ніші з максимальними підтвердженими обсягами продажів включають: лікарські сполуки з підвищеною спроможністю розчинятися, харчові продукти, ліки від раку, сонцезахисні засоби, біологічне детектування і маркування, високопродуктивну рідинну хроматографію, терапію AMD, що заснована на аптамерах тощо. У прогнозованому періоді обсяги сектора у вартісному відношенні збільшуються (з 2,6 млрд дол. до 4,6 млрд дол.);
- у секторі «Енергетика» в прогнозованому періоді пріоритети можуть змінитися. Рекордні темпи зростання демонструє сегмент «Сонячна фотоелектрика» (359,2%), однак основна частка ринку залишиться за нафтопереробкою (більше 75%). Будуть значно зростати сегменти «Виробництво синтетичного вуглеводневого палива», «Батареї», «Світлодіоди» і «Виробництво водню». Середні темпи росту сектора у складних відсотках складуть 9,2%;
- на теперішній час сектор «Електроніка та ІКТ» – це найбільший індустріальний сегмент ринку нанопродуктів. З 2009 до 2014 р. застосування нанопродукції у цьому секторі (без урахування наноелектроніки) у вартісному відношенні збільшиться практично в 4 рази (з 2,2 млрд дол. до 8,1 млрд дол.). Найбільші темпи зростання нанозастосувань покаже сегмент «Оптоелектроніка» (53,3%). До 2014 р. частка сегменту «Оптоелектроніка» збільшиться, але тим не менш основну частку ринку будуть займати нанотехнологічні інструменти для електроніки; середні

темпи зростання сектора в цілому у складних відсотках складає 26,2%, а без урахування сегменту «Нанотехнологічні інструменти для електроніки» – 17,5%;

- обсяг сектора «Обробна промисловість» у вартісному значенні збільшиться більше, ніж у 1,5 рази (з 3,6 до 6,4 млрд дол.), а найбільші темпи зростання покаже сегмент «Нанодатчики» (23,8%). Основна ж частка ринку залишиться за нанокаталізаторами (більше 85%), що пов'язано зі зрілістю технологій і великою кількістю застосувань, що існують. Також швидкими темпами будуть зростати продажі: нанокompозитів на основі глини (24,2%) і кераміки (22,5%), що відвертають прилипання покриттів (31,9%), а також аерогелевої ізоляції будівель (40,1%). Частка нанодатчиків зросте більше, ніж у 2 рази, а нанокompозитів – у 1,5 рази. За вартістю таке зростання буде ще значнішим: по нанодатчикам – більше, ніж у 3 рази, по нанокompозитам – у 2,5 рази.

## Висновки

1. Визначенню «нанопродукти» відповідають як наноматеріали, так і вироби, створені за допомогою нанотехнологій. Нанопродукти поділяють на первинний і вторинний. *Первинним нанопродуктом* є власне наноматеріали, які складають ядро ринку нано. Вони використовуються у виробництві товарів кінцевого споживання, які, в свою чергу, є *вторинними нанопродуктами*. Наноматеріали і технології їх одержання сьогодні є реальною науково-технічною основою ринку, але займають тільки незначну його частку. Значно більшу частку складають вироби, створені з використанням нанотехнологій;

2. Виділяють чотири основні покоління нанотехнологічних матеріалів і продуктів, початок кожного з яких може визначатися появою перших комерційних прототипів (що відповідає певному рівню розвитку нанотехнологій), а саме: пасивні, активні, трьохвимірні і гетерогенні молекулярні наноструктури;

3. Нанотехнологічні інноваційні розробки обіцяють виникнення великої кількості проривних бізнес-проектів, які можуть «підірвати» соціальну рівновагу і одночасно дозволять людству «привести» речовину до якогось коду, що піддається впливу і змінам. У найближчому майбутньому людству доведеться пережити *період бурхливого, експоненціального зростання нових технологій*, пов'язаного зі злиттям цілого ряду традиційних наук (особливо біології, інформатики тощо) та їхнього *взаємного синергетичного збагачення*;

4. Нанотехнології значно відрізняються від інших «хвиль» технічного прогресу, оскільки вони пов'язані з суттєвою зміною парадигм розвитку і створюють не тільки нові товари, але й нові потреби або ринки, одночасно обіцяючи

### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

---

суттєво скоротити вартість товарів і підвищити їхню якість. Багато запланованих ідей нанотехнологій може мати велику кількість застосувань, що природньо, створює складності для інвесторів. Поки що більшість сфер застосування нанонауки припадає на *побутову, медичну, інформаційну, енергетичну й сільськогосподарську галузі*. Це значить, що більша частина прибутку, швидше за все, опиниться в руках основних промислових гігантів, уже присутніх на ринках. Інвестиції в нові компанії середнього розміру й фірми, що розвиваються, з акцентом на нанотехнологіях окупляться, швидше за все, у сфері біотехнологій через те, що нові й молоді компанії мають свої продукти, процеси, ноу-хау й інтелектуальну власність;

5. Скоріш за все, через якийсь час інвестори і юристи зможуть розібратись із проблемою «багатозначності» досягнень нанонауки і вироблять певну модель розвитку, розділивши права інтелектуальної власності у цій області на «ядро» ідеї і можливі застосування, які дозволяють створювати нові продукти. У будь-якому випадку практика приведе до відпрацювання *певної моделі бізнесу на біржі, що відповідає особливостям нанотехнологічних інновацій* і бажанням інвесторів розширити рамки їх можливого застосування і комерціалізації;

6. В найближчому майбутньому (2011 – 2014 рр.) продажі такого сектора ринку нанопродуктів як «*Наноматеріали*» у вартісному відношенні зростуть більше, ніж у 1,5 рази, а з найбільшим темпом буде розвиватись сегмент «*Нанокompозити*». За кількістю наноматеріалів, що знаходяться в розробці, домінують полінаночастинки і нанокompозити. Обсяги сектора «*Медицина і біотехнології*», що характеризується достатньо довготривалим періодом виведення на ринок нових продуктів, збільшуються, але багато з потенційних застосувань у фармацевтиці, біомедицині й медичному обладнанні, відомі на даний момент, навряд чи стануть комерційно доступними у найближчий час. У секторі «*Енергетика*» в прогностичному періоді пріоритети можуть змінитися: будуть значно зростати сегменти «*Сонячна фотоелектрика*», «*Виробництво синтетичного вуглеводневого палива*», «*Батареї*», «*Світлодіоди*» і «*Виробництво водню*», основна частка ринку залишиться за нафтопереробкою. Сьогодні сектор «*Електроніка та ІКТ*» – це *найбільший індустріальний сегмент ринку нанопродуктів*, який у вартісному відношенні збільшиться практично у 4 рази. При цьому найбільші темпи зростання покаже сегмент «*Оптоелектроніка*», хоча основну частку ринку будуть займати нанотехнологічні інструменти для електроніки. Обсяг сектора «*Обробна промисловість*» у вартісному значенні збільшиться більше, ніж у 1,5 рази, а найбільші темпи росту покаже сегмент «*Нанодатчики*». Основна ж частка ринку залишиться за нанокаталізаторами, що пов'язано зі зрілістю технологій і великою кількістю застосувань, які існують.

## Література

1. Большой бухгалтерский словарь / Под ред. А. Н. Азриляна. – М.: Институт новой экономики, 1999. – 574 с.
2. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев и др.; под ред. Г. Л. Азоева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.
3. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.
4. Лавриненко И., Крюкова С. Нанопрогресс и нанопурга // Эксперт, № 50, 28.12.10. – С. 20 – 22.
5. Асеев А. Л. Нанотехнологии и наноматериалы / А. Л. Асеев // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П. П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. Уильямс Л., Адамс У. Нанотехнологии без тайн / Л. Уильямс, У. Адамс; пер. с англ. – М.: Эксмо, 2009. – 368 с.
7. Роко М. К. Конвергенция и интеграция / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
8. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи / М. Ратнер, Д. Ратнер; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 240 с.
9. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / Под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса, П. Аливисатоса. – М.: Мир, 2002.
10. Джарветсон С. Коммерциализация нанотехнологии. Работает ли закон Мура в микро- и наноэлектронике? // Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
11. Пул Ч-мл., Оуэнс Ф. Нанотехнологии / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс; 5-е изд., исправленное и дополненное. – М.: Техносфера, 2010. – 336 с.
12. Балабанов В. И. Нанотехнологии: правда и вымысел / Виктор Балабанов, Иван Балабанов. – М.: Эксмо, 2010. – 384 с.
13. Roco M. C. and Bainbridge W.S. (eds) (2001) Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology (NSF Report), Boston etc.: Kluwer.Online, available at: [www.wtec.org/Loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf](http://www.wtec.org/Loyola/nano/societalimpact/nanosi.pdf) (accessed 22 Sept. 2003).
14. Сергеев Д. Перспективы развития нанотехнологий / [Электронный документ]. – Режим доступа: <http://www.artkis.ru/nano.html>



### 3. Комерціалізація і особливості ринку нанотехнологій і нанопродуктів

---

15. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси; пер. с япон.– М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.– 134 с.

16. Альтман Ю. Военные нанотехнологии / Ю. Альтман.– М.: Техносфера, 2006.– 416 с.

17. Моффат Р. Дуглас. Нанотехнологические компании и открытые рынки // Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

## 4. Державне регулювання наноіндустрії у провідних країнах світу

---

### 4.1. Порівняльний аналіз напрямків розвитку і фінансування досліджень у сфері нанотехнологій у провідних країнах світу

Нанотехнологічні дослідження й розробка нанотехнологій фактично почали здійснюватися у більшості розвинених країн з початку 1990-х років, але вже до початку ХХ століття світове співтовариство визнало, що нанотехнології принесуть радикальні зміни в багатьох сферах науково-технічної діяльності. Як наслідок, були розроблені цільові державні програми підтримки розвитку нанотехнологій, які відповідно фінансуються бюджетом і є потужним фактором впливу на становлення структури світового ринку нанопродуктів. Сьогодні у «наногонці» беруть участь понад 50 провідних країн світу, тому в дослідженні автори обмежилися оцінкою структурної побудови і особливості вибору пріоритетів та державного регулювання наноіндустрії у країнах, що мають визначні досягнення у цій області: США, Японії, ЄС, Німеччині, Ізраїлі, КНР, Республіці Корея, Індії і Росії.

Ще на початку 1990-х років ця галузь розробок отримала статус пріоритетного розвитку США. Наприклад, у 1995 р. відповідно до програм фундаментальних досліджень Міністерства оборони США роботи в галузі нанонауки були визначені в рамках окремого пріоритетного напрямку (*Strategic Research Area (SRA)*). У Японії великомасштабні й довгострокові нанотехнологічні проекти було розгорнуто у 1992 р.

**Державні видатки провідних країн світу на нанонауку й нанотехнології** у 1997 р. склали: у США – 116 млн дол. США (з них 27% в інтересах Міноборони); у Японії – 128 млн дол. США; у Західній Європі – 120 млн дол. США [1, с. 412].

За даними спеціального комітету американського *Центру оцінки світового стану технологій (World Technology Evaluation Center, WTEC)*, що відслідковував і аналізував у період 1996 – 1998 рр. розвиток нанотехнологій у різних країнах по *шести основних напрямках*, а також випускав для наукових, технічних і адміністративних фахівців США оглядові інформаційні бюлетені про основні тенденції розвитку й досягнення, пріоритети розподілилися у такий спосіб (табл. 4.1) [1, с. 84].

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Таблиця 4.1

##### Розподіл пріоритетів досліджень у наноауці та нанотехнології у США, Японії, країнах Західної Європи

№ з/п	Галузь науково-технічних досліджень	Розподіл пріоритетів		
		1	2	3
1	Синтез і складання	США	Європа	Японія
2	Біологія й пов'язані з нею застосування	США/Європа	Японія	
3	Дисперсні системи й покриття	США/Європа	Японія	
4	Матеріали з розвинутою поверхнею	США	Європа	Японія
5	Наноприлади	Японія	Європа	США
6	Консолідовані матеріали	Японія	США/Європа	

До початку 2000 р. США зайняли лідируючі позиції в галузі формування й складання наноструктур, розділяючи з Європою лідерство у створенні наноструктурних покриттів і наномасштабній біології. Японія ж досягла лідерства в галузі розробок наноприладів і наноструктурних матеріалів підвищеної міцності.

Приблизну оцінку урядових видатків провідних країн світу на нанотехнологічні НДДКР у період з 1998 – 2003 рр. наведено у *табл. 4.2* [2, с. 111]:

Таблиця 4.2

##### Зростання видатків на дослідження у сфері нанотехнологій у країнах світу

№з/п	Країна або регіон	Офіційні бюджетні асигнування (у млн дол. США)					
		1998	1999	2000	2001	2002	2003
1	Японія	120	157	250	465	720	800
2	США	116	255	270	465	697	774
3	Європа (ЄС + Швейцарія)	128	165	200	225	400	650
4	Інші країни (Австралія, Канада, Китай, країни СНД, Ізраїль, Корея, Сінгапур, Тайвань і т. ін.)	70	96	110	380	550	800
	Загальні видатки	434	673	830	1535	2367	3024

З *табл. 4.2* видно, що до 2001 р. державні видатки США і Японії на цілі розвитку нанотехнологій майже зрівнялися. Саме між цими двома країнами розгорнулося основне суперництво в зазначеній галузі. За оцінками фахівців Національного наукового фонду США (NSF), у 2001 р. на дослідження й впровадження нанотехнологій у світі було витрачено близько 50 млрд дол. [3, с. 298].

У той самий час, уже до 2005 р. значно розширилося коло країн – учасниць «нанотовариств». Про це свідчать результати аналізу, проведеного фірмою «Lux Reseach» [4], за даними якої у 2005 р. НТ-дослідження й розробки здійснювалися в 51-й країні світу. 14 із цих країн, кваліфікованих авторами аналізу як найбільш провідні, були, у свою чергу, розбиті на 4 перераховані нижче групи, виходячи з масштабів бюджетного фінансування, науково-технічного потенціалу, кількості публікацій і можливостей реалізації досягнень:

**Група I** – США, Японія, ФРН і Південна Корея (автори називають їх «безумовними лідерами»);

**Група II** – Тайвань, Ізраїль і Сінгапур (країни з невеликим населенням, що активно розвивають нанотехнологію, яких автори аналізу образно йменують «гравцями ніші», маючи на увазі їхню можливу перевагу лише у вузьких напрямках);

**Група III** – Великобританія та Франція (країни, іменовані «вежами зі слоновієї кістки», які мають високий науково-технічний потенціал, але поки дуже «скромні» у розвитку технічних застосувань);

**Група IV** – Китай, Канада, Австралія, Росія, Індія. Необхідно особливо підкреслити прагнення Китаю перейти до групи «безумовних лідерів». У Китаї швидко зростає бюджетне фінансування НТ-досліджень (у 2003 р. – 100 млн дол., у 2004 р. – 200 млн дол.). Варто відзначити й стрімке зростання кількості журнальних публікацій: за даними Science Citation Index, у 2004 р. Китай за кількістю наукових публікацій вийшов на друге місце у світі, обігнавши такі країни, як Японія, ФРН й ін. [5].

**Росія**, за результатами досліджень «Lux Reseach», у світовому НТ-рейтингу у 2004 р. посідала досить скромне місце. Це було пов'язане з украй слабким фінансуванням військової та цивільної науки аж до 2007 р. У 2004 р. Росія за кількістю публікацій була на 8-му місці (у 1994 р. – на 7-му) [6], а масштаб фінансування НТ-досліджень склав у 2005 р. лише **1,4 млрд руб.**

**У 2004 р.**, за деякими оцінками, у сфері нанотехнологій:

1) на дослідження урядами різних країн було витрачено понад 1,0 млрд дол. США. У 2006 р. ця цифра вже перевищила 2,0 млрд дол. США, причому стільки ж на подібні дослідження витратили приватні компанії;

2) світові *інвестиції* в цьому ж році значно зросли й досягли **\$10 млрд**. На частку *приватних донорів* – корпорацій і фондів – припало приблизно **\$6,6 млрд** інвестицій, на частку *державних структур* – майже **\$3,3 млрд**. Світовими лідерами за загальним обсягом капіталовкладень у цій сфері стали Японія й США;

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

3) сумарна *вартість продукції*, випущеної на основі наноматеріалів і нанотехнологій, за оцінками науково-дослідної компанії NanoMat (Карлсруе, Німеччина), перевищила **26,5** млрд дол. США [3, с. 262].

За даними Експрес-булетеня «ПерсТ» («Перспективні технології: надпровідники, фулерени, наноструктури»), обсяги фінансування нанодосліджень і розробок у світі за 2004 р. збільшилися майже на 18% і оцінюються у \$8,8 млрд, для порівняння, у 2003 р. – \$7,5 млрд (табл. 4.3). Кількість зареєстрованих патентів в галузі нанотехнологій з 1976 р. – 88546, з яких 64% – патенти США [1].

Таблиця 4.3

#### Фінансування нанорозробок у світі у 2004 р.

№ з/п	Країна	Джерело фінансування	Обсяг фінансування, млрд дол.
1	США	Федеральний бюджет	1,6
		Приватний бізнес	1,7
2	Європейський Союз	Урядове фінансування	1,3
		Приватний бізнес	0,7
3	Країни Азії	Урядове фінансування	1,6
		Приватний бізнес	1,4
4	Росія	Всі урядові канали: Мінпроменерго, МОН, РАН, РФФІ й інші	Кілька десятків млн дол.

Джерело: Експрес-булетень «ПерсТ»

У табл. 4.4 також наведено дані Європейської комісії щодо фінансування НДДКР у наносфері у 2004 р. [7, с. 71].

Таблиця 4.4

#### Фінансування НДДКР у наносфері в країнах світу у 2004 р.

№ з/п	Країна	Фінансування, млн євро	№ з/п	Країна	Фінансування, млн євро
1	2	3	4	5	6
1	США (федеральний бюджет)	910,0	21	Фінляндія	14,5
2	Японія	750,0	22	Австрія	13,1
3	Єврокомісія	370,0	23	Іспанія	12,5
4	США (бюджет штатів)	333,3	24	Мексика	10,0
5	Німеччина	293,1	25	Нова Зеландія	9,2
6	Франція	223,9	26	Данія	8,6
7	Південна Корея	173,3	27	Сінгапур	8,4

Закінчення табл. 4.4

1	2	3	4	5	6
8	Великобританія	133,0	28	Норвегія	7,0
9	Китай	83,3	29	Бразилія	5,0
10	Тайвань	75,9	30	Таїланд	4,2
11	Австралія	62,0	31	Індія	3,8
12	Бельгія	60,0	32	Малайзія	3,8
13	Італія	60,0	33	Румунія	3,1
14	Ізраїль	45,0	34	Південна Африка	1,9
15	Нідерланди	42,3	35	Греція	1,2
16	Канада	37,9	36	Польща	1,0
17	Ірландія	33,0	37	Литва	1,0
18	Швейцарія	18,5	38	Інші	2,8
19	Індонезія	16,7	Разом		3 850,0
20	Швеція	15,0			

Джерело: Європейська комісія, 2005 р.

З табл. 4.3 і табл. 4.4 видно, що найбільші витрати у світі на розвиток нанотехнологій здійснюють США. Європейська комісія інвестує найбільші обсяги в Європі. Серед країн-членів ЄС, що мають найбільші бюджетні витрати на розвиток нанотехнологій, слід виділити Німеччину, Францію й Великобританію. Обсяги фінансування цієї сфери Японією і Південною Кореєю відповідають європейським обсягам. Значними є також обсяги державних асигнувань у Китаї.

За оцінками деяких російських експертів, при вивченні пріоритетності нанодосліджень для урядів кожної країни слід враховувати такі показники, як [7, 8]:

- *обсяг бюджетних видатків на розвиток нанотехнологій на душу населення*, що розраховується за паритетом купівельної спроможності. Цей показник дозволяє визначити місце нанотехнологій у системі державних пріоритетів та здатність країн до прориву у тих чи інших нанонапрямах. У 2004 р. США як лідер щодо бюджетного фінансування у наносферу переміщуються на четверту позицію, а Японія – на другу. США поступаються Тайваню у 1,7 рази і пропускають уперед Корею. РФ за вказаним показником знаходиться на рівні США;
- *частка бюджетних видатків на розвиток наносфери у загальних видатках на НДДКР країн світу*, що характеризує рейтинг нанотехнологій в системі державних пріоритетів. Лідерами за цим показником є Росія, Ірландія, Тайвань, Японія і Корея.

**Витрати корпоративного сектора на дослідження в області нанотехнологій** мають феноменальний характер з огляду на те, що вони зростають на фоні стагнації і навіть зниження обсягів вкладень корпорацій у дослідження в інших технологічних сферах. Причому ринок нанопродуктів перебуває ще тільки на початковій стадії розвитку, коли державні наукові заклади виконують левову частку досліджень у сфері нанотехнологій. Сучасною тенденцією у цьому секторі є те, що постійно зростає частка так званих інших країн у глобальних витратах корпоративного сектора на науку, наприклад, у 2004 – 2005 рр. вона виросла з 7,8 до 12% (одночасно зростає й частка країн Азійсько-Тихоокеанського регіону) [8].

У **фінансуванні приватним сектором нанодосліджень** слід відмітити таку особливість як збільшення витрат на фундаментальні дослідження з боку як транснаціональних компаній, так малих і середніх підприємств.

У США витрати приватного сектора на фундаментальні НДДКР у 2005 р. становили близько 14% від загального обсягу інвестицій у розвиток нанонауки, в той час, як у Росії (як і в усьому світі) нанодослідження сконцентровані у державному секторі науки, а на приватний сектор припадає тільки 10% наукових організацій. І тільки у 2007 р., коли російська Онексім-груп створила фонд для інвестування у водневу енергетику та нанотехнології, це стало мотивацією для вкладання коштів у розвиток нанотехнологій з боку інших приватних компаній. За даними Європейської комісії, приватні асигнування в Європі у 2005 р. становили лише третину світового обсягу фінансування нанотехнологій, у той час як у США – 54%; в Японії – більше 60%; країнах, що розвиваються, та Азії – близько 36%. В абсолютних показниках витрати на розвиток нанотехнологій становлять: у США – більше 3,5 млрд євро, Японії – 2,7 млрд євро, в Європі – більше 2,5 [7, с. 74].

Аналіз діяльності 357 компаній, що працюють у сфері нанотехнологій, таких світових лідерів, як США, Німеччина, Великобританія, Японія, показав, що приблизно *одна третина* з розглянутих компаній найбільш активно працює у секторі «Наноматеріали», *третина* – за напрямом «Нанобіотехнології», а *менша кількість* компаній займається створенням «Наноінструментів і наноприладів». Німеччина випереджає США у створенні наноінструментів, Великобританія – нанобіотехнологій, Японія – йде попереду у створенні наноматеріалів і наноінструментів, але відстає у розвитку нанобіотехнологій [9]. Аналіз також свідчить, що більшість нанотехнологічних компаній розміщено у США і Німеччині, менше – у Великобританії, Японії, Ізраїлі, Швейцарії, Канаді і Швеції. Більшість компаній США є середніми за розмірами, тобто їх товарообіг становить від 10 до 500 млн дол. США. Розміри більшості компаній

Німеччини та Великобританії є значно меншими: їхній товарообіг не перевищує 10 млн дол. США., тоді як обсяги товарообороту компаній Японії можуть перевищувати 500 млн дол. США [7, с. 77].

#### 4.2. Розвиток нанотехнологій у США

Формування наноіндустрії у США почалося 18 жовтня 1986 р. з наукової публікації І. Беднорца і К. Мюллера, що поклала початок нанотехнологічній гонці. А до початку другого тисячоліття Сполучені Штати Америки на основі проведених інтенсивних досліджень практично у всіх галузях нанотехнологій *першими* виробили *державну стратегію* розвитку цієї нової галузі науки й техніки. Так, у січні 1999 р. відбулося засідання Міжгалузевої групи з нанонауки, нанотехніки й нанотехнологій (*Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology, IWGN*), результатом якого стало вироблення прогнозу досліджень в галузі нанотехнологій на найближче десятиліття. На основі прогнозів IWGN і аналізу WTEC у вересні 1999 р. було випущено збірник доповідей.

##### 4.2.1. Напрямки і фінансування досліджень у рамках

##### Національної Нанотехнологічної Ініціативи

Наприкінці 1999 р. висновки й рекомендації IWGN були підтримані Національною радою з науки і техніки при Президенті США (PCAST), після чого у лютому 2000 р. Президент Б. Клінтон офіційно оголосив про прийняття **Національної Нанотехнологічної Ініціативи (NNI)**. Основна ідея цього документа сформульована в такий спосіб: «Національна Нанотехнологічна Ініціатива визначає стратегію взаємодії різних федеральних відомств США з метою забезпечення пріоритетного розвитку **нанотехнологій**, які повинні стати **основою економіки й національної безпеки США у першій половині XXI століття**». NNI визначила цілі й напрямки розвитку нанотехнологічних досліджень США на майбутнє. У серпні 2000 р. було опубліковано оновлений варіант NNI, що включає в себе «план реалізації».

Державною програмою NNI був запланований комплекс досліджень і розробок на період 2001 – 2008 рр., що складається з двох етапів по 4 роки.

У вихідному варіанті NNI було визначено *дев'ять основних завдань*, причому велика увага була приділена проблемі стикування інтересів різних відомств і погодженості їхньої роботи (табл. 4.5) [10]. Пізніше до цього списку було додано ще два важливі завдання, а саме: «Виготовлення нанооб'єктів» і «Створення інструментів і методологічної бази для нанотехнології». У 2003 р. Конгрес



4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Таблиця 4.5

Основні завдання NNI й уряду США у 2000 і у 2004 рр.

Основні завдання NNI 2000 р.		Основні завдання NNI 2004 р.		Завдання для уряду США по програмі NNI	
№ з/п	Завдання	№ з/п	Завдання	№ з/п	Завдання
1	Створення наноструктурних матеріалів із заданими властивостями	1	Фундаментальні дослідження нанометричних об'єктів, явищ і процесів	1	Створити науково-дослідницьку базу найвищого рівня у сфері нанотехнологій
2	Наноелектроніка, оптоелектроніка й магнітні матеріали	2	Наноматеріали	2	Створити можливість «перетворення» нових технологій у реальні комерційні продукти, нові робочі місця
3	Наноелектроніка для охорони здоров'я, діагностики й т. ін.	3	Нанопристрої та системи	3	Забезпечити гармонічний і розумний розвиток нанотехнологій
4	Використання нанотехнологій для перетворення й акумулювання енергії	4	Розробка інструментів і апаратури, а також метрології й стандартів для нанотехнологій	4	Розвинути необхідну інфраструктуру, систему вищої та технічної освіти, підготувати кадри, почати виробництво апаратури й інструментів
5	Нанопроцеси й охорона навколишнього середовища	5	Нановиробництво		
6	Розробка й використання мікросупутників для космічної техніки	6	Створення можливостей для досліджень, забезпечення апаратурою		
7	Розробка біологічних нанодатчиків для діагностики й запобігання погрози застосування біологічної зброї	7	Соціальні проблеми, пов'язані з нанотехнологією		
8	Проблеми економіки й безпеки транспорту				
9	Нанотехнології й національна безпека				

США прийняв Акт про розвиток нанотехнології у XXI столітті (21<sup>th</sup> century Nanotechnology Research and Development Act), що має форму закону й визначає завдання NNI, а саме:

- встановлення цілей, пріоритетів і параметрів, що дозволяють точніше оцінювати стан нанотехнологічних досліджень у державному масштабі й виробляти відповідні програми розвитку;
- фінансування з федерального бюджету досліджень у нанотехнології й суміжних науках, необхідні для досягнення цілей;

- забезпечення міжвідомчої координації дій для підвищення ефективності досліджень і виконання програми.

У цьому ж Акті врахована специфіка нової науки, оскільки в ньому особливо обмовляються додаткові заходи обережності при проведенні міждисциплінарних досліджень («строге дотримання етичних, юридичних і соціальних норм»), а також передбачається контроль за діяльністю NNI з боку PCAST, наявність окремої Комісії радників з нанотехнології й складання регулярних (раз у три роки) оглядів діяльності NNI для Академії наук США.

У офіційному документі під назвою «Національна нанотехнологічна ініціатива. Стратегічний план» (грудень 2004 р.) головні завдання нанотехнологічних досліджень у США трохи переформульовані, їх залишилося тільки сім [11]. Найпростіше звести всю програму до чотирьох завдань, які поставив перед собою уряд США (табл. 4.5).

Щодо *пріоритетів фінансування* – у відсотковому відношенні у перший рік реалізації NNI вони визначалися таким чином:

- довгострокові фундаментальні дослідження в області нанотехнологій (40%);
- так звані «Великі виклики», що включали у себе вирішення низки прикладних завдань, що мають велике практичне значення (27,5%);
- «Центри і мережі якості» із сучасною інфраструктурою (13,3%);
- дослідницькі центри (13,3%);
- етичні, правові соціальні питання, підготовка персоналу (5,9%).

У наступні роки зміна пріоритетів NNI США відбувалась у послідовності, що наведена у табл. 4.6 [12, с. 84 – 85].

Таблиця 4.6

#### Зміна пріоритетів NNI США

№ з/п	Рік	Пріоритетні напрями програми
1	2	3
1	1993	Створення Президентом Б. Клінтоном Національної ради з науки і технології (National Science and Technology Council, NSTC), покликаної по лінії Адміністрації Президента США координувати дії федеральних органів виконавчої влади в області науки, технологій і космосу
2	2000	Створення в рамках NSTC підкомітету з науки нанорозмірних частинок, інжинірингу і технологій (Nanoscale Science, Engineering and Technology, NSET) комітету з технологій, що безпосередньо займається нанотехнологіями
3	2001	Підвищення частки фундаментальних досліджень, вирішення проблеми «Великих викликів» (Grand Challenges, що включають «показове» вирішення прикладних проблем, зрозумілих

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.6

1	2	3
		будь-якому члену суспільства), створення інфраструктури нанотехнологій. Початок роботи команд і центрів для досягнення цілей NNI. На вирішення цих практичних завдань в рамках NNI відводиться біля 30% всього фінансування і приблизно 70% було виділено на дослідження, що проводились на базі університетів
4	2002	Створення 10 нових центрів і мереж з повним спектром можливостей для нанорозмірних вимірів і виробничої діяльності
5	2003	Розробка нового стандарту матеріалів для напівпровідникових наноструктур, чипових технологій, наномагнітів, калібрування і забезпечення якісного аналізу наносистем. Прийняття Акту з розвитку і дослідженню нанотехнологій, який передбачає, що Стратегічний план NNI повинен корегуватись кожні чотири роки (відповідно перший план був прийнято у 2004 р., на зміну йому прийшов план 2007 р., який було скориговано у 2010 р.)
6	2004	Розробка стандартизованих, таких, що відтворюються, мікроформових підходів до нанохарактеристик, наноманіпуляції і нанопристроїв. Розвиток кількісних методів вимірювання для нанопристроїв, наноманіпуляції, нанохарактеристик і наномагнітів. Розвиток 3D-вимірювальних методів для фізичного і хімічного аналізу в масштабі атому
7	2005	Забезпечення 50% дослідницьких інститутів і студентів повним доступом до нанорозмірних дослідницьких технологій. Забезпечення доступу до нанотехнологій та інженерному навчанню студентам не менш 25% дослідницьких університетів. Створення трьохвимірних наноструктур. Розробка 3D-моделювання наноструктур підвищеної швидкості/точності, що дозволяє використовувати його у практичних системах і архітектурному нанодизайні
8	2007	Проведено коригування Стратегічного плану NNI, який описує цілі і завдання, які NNI планує досягти у наступні роки і спрямовані на забезпечення зростаючих економічних переваг, покращення якості життя громадян США, а також на закріплення провідної позиції країни у дослідженнях нанотехнологій у найближчому майбутньому [13]. Особливу увагу у цьому плані приділено наномедицині (в основному в області діагностування онкологічних захворювань та їх терапії). План уточнює політику розвитку нанотехнологій в США, яка затверджена Наглядною радою Президента у галузі науки і технологій і Національною дослідницькою радою національних академій [14]
9	Наш час	Час, що проходить від фундаментальних відкриттів до комерціалізації продукту, складає біля 10 – 15 років. Приватні промислові компанії починають активно включатися у цей процес тільки в останні 3 – 5 років. Заповнити цей «фінансовий лаг» призвані уряд США та університетські дослідницькі центри

Слід відмітити, що нанотехнологічні області досліджень NNI відрізняються від програм інших федеральних закладів тим, що роботи за ними фокусуються одночасно як на досягненні екстремальних технічних характеристик наноречовин, так і на оцінці їх потенціальної значущості для кінцевого споживача. Для

того, щоб показати корисність нанотехнологій для суспільства і обґрунтувати необхідність виділення масштабного фінансування для осіб, що приймають рішення, в рамках NNI були розроблені так звані «Великі виклики» (Grand Challenges), що включають «показове» вирішення прикладних проблем, зрозумілих будь-якому члену суспільства [12, с. 90], а саме:

- розмістити усю інформацію Бібліотеки Конгресу США на пристрої розміром із грудку цукру;
- мати можливість будувати матеріали на молекулярному і клітинному рівнях;
- виготовляти матеріали у 10 разів міцніше за сталь, але значно більш легкі;
- у мільйони разів збільшити швидкодю комп'ютерів;
- розпізнавати мікроскопічні злоякісні пухлини;
- очищувати повітря і воду від найменших частинок забруднення;
- збільшити у 2 рази енергоефективність сонячних батарей.

За суттю, «Великі виклики» – це успішне комунікаційне рішення з боку лобістів нанотехнологічної галузі США, що наближує нанотехнології до американського суспільства [15].

Таким чином, сьогодні NNI характеризується певними параметрами, що наведено у *табл. 4.7* [12, с. 85 – 97].

За оцінками Національної консультативної групи експертів із нанотехнологій (National Nanotechnology Advisory Panel, NNAP) разом з технічною консультативною групою TAG було проведено опитування експертів і встановлено перспективні коротко-, середньо- і довгострокові нанотехнологічні програмні пріоритети і можлива тематика проектів НДДКР, наведені у *табл. 4.8* [7, с. 127 – 128].

Спочатку своєї діяльності NNI відносилася лише до восьми федеральних міністерств, однак уже до моменту підписання документа Президентом США в 2000 р. з'ясувалося, що суцільно нанотехнологічні розробки вже фінансують одинадцять відомств, а ще одинадцять беруть участь у змішаному фінансуванні, оскільки розвиток нанотехнології істотно зачіпає їхні інтереси й дозволяє підвищити ефективність роботи. Тобто програма NNI стала міждисциплінарною і міжвідомчою із загальною координацією цілей і пріоритетів, а також розподілу бюджетних асигнувань на нанодослідження і нанорозробки [7, с. 115].

Таблиця 4.7

## Основні параметри програми Національна нанотехнологічна ініціатива (NNI) США

Цілі і задачі		Головні постулати зростання		Ключові суб'єкти нанотехнологій		Області досліджень		
№ з/п	Перелік цілей і задач	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік програмних підрозділів
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Підтримувати наукові дослідження світового рівня в області нанотехнологій	1	Створення усталених взаємозв'язків між нанотехнологіями і реальним сектором економіки в охороні здоров'я, електроніці, виробництві електроенергії і створенні нових матеріалів	1	Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Національна рада з науки і технологій (NSTC), яку очолює Президент США;</li> <li>▪ підкомітет NSTC з науки нанорозмірних частинок, інжинірингу і технологій (NSEI);</li> <li>▪ Національний нанотехнологічний координаційний офіс (NNCO)</li> </ul>	Формування державної політики в області нанотехнологій	1	Фундаментальні нанотехнологічні процеси;
							2	Наноматеріали;
							3	Нанометричні пристрої і системи;
							4	Контрольно-вимірвальні прилади, метрологія і нанотехнологічні стандарти;
							5	Виробництво нанопродуктів;
2	Забезпечити умови для перетворення нових технологій в продукти для комерційного використання і суспільного блага	2	Збільшення числа патентів, що реєструється у сфері нанотехнологій (щорічно в середньому на 35%, починаючи з 2002 р.) [16]	2	Мезорівень: 25 учасників (департаменти, інститути, агентства)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наукові дослідження;</li> <li>▪ трансфер технологій;</li> <li>▪ розвиток освітньої бази, наукового потенціалу та інфраструктури нанотехнологій</li> </ul>	6	Створення спеціалізованих лабораторій для проведення досліджень і придбання контрольно-вимірвальної апаратури;
							7	Суспільні аспекти

Закінчення табл. 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Розвивати освітні ресурси, підготовку кадрів і підтримувати дослідницьку інфраструктуру (зокрема, оснащення новітнім обладнанням)	3	Формування інноваційних технологій і вдосконалення ланцюжку «нанотехнологія – нанопродукт». Активізація потенціалу компаній з комерціалізації нанопродуктів	3	Мікрорівень: комерційні компанії наноіндустрії – більше 2000 [17], серед них: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ академічні програми (846), підприємці (534), державні компанії (133), інформаційні (79), інвестиційні (177), проектні (133), юридичні (9), некомерційні (33), виробники обладнання (201) тощо.</li> <li>▪ (повний перелік компаній приведено на сайті [18])</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Реалізація державної політики у сфері нанотехнологій;</li> <li>▪ залучення інвестицій у наукомісткі галузі;</li> <li>▪ одержання комерційних і соціальних вигод</li> </ul>		
4	Підтримувати відповідальний розвиток нанотехнології, оцінювати усі ризики і потенційні небезпеки для суспільства і навколишнього середовища							

**Прогнозні програмні пріоритети і можлива тематика проектів НДДКР  
в рамках NNI США**

Короткострокові (1 – 5 років)		Середньострокові (5 – 10 років)		Довгострокові (10 – 20 і більше років)	
№ з/п	програмні пріоритети	№ з/п	програмні пріоритети	№ з/п	програмні пріоритети
1	Нанокompозитні матеріали з високим співвідношенням міцність/вага, покращеними показниками твердості й інших характеристик	1	Цільова лікарська терапія	1	Постачання лікарських препаратів через клітинні стінки
2	Мобільне медичне діагностичне устаткування	2	Ефективна медична візуалізація	2	Нейронне протезування при лікуванні паралічів, сліпоти та інших захворювань
3	Наномембрани і фільтри для очищення й опріснення води	3	Високоєфективні сонячні елементи (фотоелементи) за доступними цінами	3	Перетворення енергії термічних і хімічних джерел
4	Швидкореагуючі, селективні, надійні напівпровідникові хімічні й біологічні сенсори	4	Удосконалені паливні елементи	4	Молекулярна електроніка
5	Перезарядження батарей із тривалим терміном дії	5	Ефективні технології одержання водню з води		
6	Удосконалені каталізатори, що зменшують вміст дорогоцінних металів в емульсіях	6	Технології із зв'язування вуглецю при очищенні емісій		

Для координації цієї складної й взаємозалежної діяльності при Національній раді з науки і техніки був організований спеціальний орган – Підкомітет з науки, інженерії й технології в галузі нанодосліджень (*Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology, NSET*), що поєднує зусилля всіх пов'язаних з новою наукою 22 урядових агентств. Надалі цей підкомітет створив Національне відомство з координації розвитку нанотехнологій (*National Nanotechnology Coordination Office, NNCO*), що забезпечує технічну й адміністративну підтримку діяльності NSET у всіх питаннях, пов'язаних із внутрішньовідомчими контактами федеральних організацій у зазначеній сфері, а також займається юридичним забезпеченням операцій, пов'язаних із суспільними відносинами й передачею технологій [19, с. 96 – 111].

Сьогодні ця програма поєднує роботу 15 міністерств і відомств (агентств). З них 10 державних структур мають цільове бюджетне фінансування на проведення досліджень і розробок у рамках NNI.

Фінансування досліджень у рамках NNI по різних міністерствах урядовим агентствам США в мільйонах доларів на I етапі (2000 – 2004 рр.) за даними [20] наведено у *табл. 4.9*. У програмах ініціативи (без фінансування НДДКР) беруть участь також Державний департамент, Міністерство транспорту, Міністерство фінансів, Управління по продуктах харчування й лікарських препаратів, розвідувальні організації.

Таблиця 4.9

**Фінансування досліджень у рамках I етапу NNI у 2000\* – 2004 рр., млн дол. США**

№ з/п	Агентство	2000*	Роки реалізації I етапу NNI				Усього за 2001 – 2004 рр.
			2001	2002	2003	2004	
1	Національний науковий фонд NSF	97,0 (35,93%)	150,0 (32,35%)	204,0 (29,27%)	221,0 (28,70%)	249,0 (29,33%)	824,0 (29,64%)
2	Міністерство оборони (DOD)	70,0 (25,93%)	123,0 (26,53%)	224,0 (32,14%)	243,0 (31,56%)	222,0 (31,7%)	812,0 (29,21%)
3	Міністерство енергетики (DOE)	58,0 (21,48%)	87,8 (18,93%)	89,0 (12,77%)	133,0 (17,27%)	197,0 (23,20%)	506,8 (18,23%)
4	Міністерство охорони здоров'я NIH (Національний інститут здоров'я HHS)	32,0 (11,85%)	39,6 (8,54%)	59,0 (8,46%)	65,0 (8,44%)	70,0 (8,24%)	233,6 (8,41%)
5	Міністерство торгівлі DOC (Національний інститут стандартів і технологій NIST)	8,0 (2,96%)	33,4 (7,20%)	77,0 (10,05%)	66,0 (8,57%)	62,0 (7,30%)	238,4 (8,58%)
6	Національне аерокосмічне агентство (NASA)	5,0 (1,85%)	22,0 (4,74%)	35,0 (5,02%)	33,0 (4,28%)	31,0 (3,65%)	121,0 (4,35%)
7	Міністерство внутрішньої безпеки DHS (Управління безпеки транспортних засобів)	-	0 (0%)	2,0 (0,29%)	2,0 (0,26%)	2,0 (0,24%)	6,0 (0,22%)
8	Інші, у тому числі:	-	7,9 (1,70%)	7,0 (1,00%)	7,0 (0,91%)	16,0 (1,88%)	37,9 (1,36%)
	Міністерство сільського господарства USDA	-	1,5	0	1,0	10,0	12,5
	Управління з охорони навколишнього середовища EPA	-	6,0	6,0	5,0	5,0	22,0
	Міністерство юстиції DOJ	-	1,4	1,0	1,0	1,0	4,4
	Повний обсяг фінансування в рамках NNI	270,0 (100,0%)	463,7 (100,0%)	697,0 (100,0%)	770,0 (100,0%)	849,0 (100,0%)	2779,7 (100,0%)

\* наведені дані для порівняння (до початку NNI)



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Як видно з *табл. 4.9*, загальний обсяг фінансування, виділеного на реалізацію I етапу, склав 2 779,7 млн дол. США, з них в інтересах Міністерства оборони США було витрачено близько 812 млн дол. США, або приблизно 29%.

На період 2004 – 2008 рр. було визначено, що Міністерство оборони з 2004 р. здійснює фінансування досліджень і розробок в галузі нанонауки й нанотехнологій у рамках свого бюджету НДДКР (поза бюджетом NNI), а Міністерство охорони здоров'я проводить комплекс робіт у рамках окремої цільової програми в галузі нанотехнологій.

У *табл. 4.10* представлені основні 4 завдання й 7 науково-технологічних напрямків досліджень і розробок у рамках II етапу NNI США, а також їхній взаємозв'язок [1, с. 415].

Таблиця 4.10

#### Взаємозв'язок програмних завдань і науково-технологічних напрямків II етапу NNI

№ з/п	Науково-технологічні напрямки NNI	Програмні завдання II етапу NNI			
		Завдання № 1: Реалізація програми світового класу з метою максимально повного використання наявного потенціалу у сфері нанотехнологій	Завдання № 2: Сприяння ефективному впровадженню нових нанотехнологій в усі сфери економіки	Завдання № 3: Розвиток системи освіти у сфері нанотехнологій, підготовка кадрів і розширення виробничої інфраструктури	Завдання № 4: Підтримка найважливіших (економічно виправданих) розробок у сфері нанотехнологій
1	2	3	4	5	6
1	Фундаментальні дослідження в галузі наномасштабних явищ і процесів	Критична важливість	Вторинна важливість	Первинна важливість	Вторинна важливість
2	Наноматеріали	Критична важливість	Вторинна важливість	Вторинна важливість	Вторинна важливість
3	Нанорозмірні устрої й прилади	Первинна важливість	Критична важливість	Вторинна важливість	Вторинна важливість
4	Розвиток науково-експериментальної бази, метрологія й стандарти в галузі нанотехнологій	Вторинна важливість	Критична важливість	Вторинна важливість	Вторинна важливість
5	Процеси виробництва наноматеріалів, нанорозмірних пристроїв, приладів	Вторинна важливість	Критична важливість	Первинна важливість	Первинна важливість

Закінчення табл. 4.10

1	2	3	4	5	6
6	Придбання інструментів і приладів, розвиток лабораторної бази в спеціалізованих державних НДІ	Первинна важливість	Первинна важливість	Критична важливість	Вторинна важливість
7	Спеціальні аспекти розвитку нанотехнологій	Вторинна важливість	Вторинна важливість	Первинна важливість	Критична важливість

У 2006 р. у своєму зверненні до нації Президент США Дж. Буш відзначив високий пріоритет нанотехнологій у бюджеті США. У 2007 р. у рамках НДІ було виділено близько 1,274 млрд дол. США, які були розподілені між 10 урядовими агентствами. Обсяги фінансування досліджень у рамках II етапу NNI США у 2005 – 2008 рр. наведено у табл. 4.11 [1, с. 413 – 414].

Таблиця 4.11

**Фінансування досліджень у рамках II етапу NNI США у 2005 – 2008 рр., млн дол. США**

№ з/п	Агентство	Роки реалізації II етапу NNI				Усього за 2005 – 2008 рр.
		2005	2006	2007	2008	
1	2	3	4	5	6	7
1	Національний науковий фонд NSF	335,0 (27,92%)	344,0 (26,40%)	373,0 (29,18%)	476,0 (37,21%)	1528,0 (30,20%)
2	Міністерство оборони (DOD)	352,0 (29,33%)	436,0 (33,46%)	345,0 (26,99%)	255,0 (31,7%)	1388,0 (27,43%)
3	Міністерство енергетики (DOE)	208,0 (17,33%)	207,0 (15,89%)	258,0 (20,19%)	415,0 (32,44%)	1088,0 (21,50%)
4	Міністерство торгівлі DOC (Національний інститут стандартів і технологій NIST)	79,0 (6,58%)	78,0 (5,99%)	86,0 (6,73%)	84,0 (6,57%)	327,0 (6,46%)
5	Національне аерокосмічне агентство (NASA)	45,0 (3,75%)	50,0 (3,84%)	25,0 (1,96%)	42,3 (3,31%)	162,3 (%)
6	Інші, у тому числі:	181,0 (15,08%)	188,1 (14,43%)	190,1 (14,87%)	6,8 (0,53%)	566,0 (3,21%)
	Міністерство охорони здоров'я NIH	165	172	170	н. д.	н. д.
	Управління з охорони навколишнього середовища EPA	7	5	9	н. д.	н. д.
	Міністерство сільського господарства USDA	3	3	3	н. д.	н. д.

#### 4. Державне регулювання розвитку наоіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.11

1	2	3	4	5	6	7
	Міністерство безпеки DHS	1	3	3	н. д.	н. д.
	Міністерство юстиції DOJ	2	2	2	н. д.	н. д.
	Повний обсяг фінансування в рамках NNI	1200,0 (100,0%)	1303,1 (100,0%)	1278,1 (100,0%)	1279,1 (100,0%)	5060,3 (100,0%)

н. д. – немає даних.

Бюджетні видатки на реалізацію II етапу (2005 – 2008 рр.) програми в **1,8 рази** перевищили обсяги фінансування I етапу. У цілому, з 2001 р. США майже **втричі** збільшили щорічні асигнування на дослідження нанотехнологій.

Як наслідок, сьогодні США є безумовним лідером у розвитку нанотехнологій. Так, за загальним числом патентів у галузі нанотехнологій на частку американських компаній, університетів і приватних осіб припадає близько **40% всіх виданих у світі патентів**. За офіційною статистикою, число нововинаходів у США перевищує **три тисячі у рік**. У жовтні 2004 р. Патентна служба США (US Patent and Trademark Office) відкрила новий клас – Class 977 спеціально для патентів у галузі нанотехнологій.

У кризовому 2009 р. сума державних вкладень складала 1, 527 млрд дол. США, в тому числі: NSF – 397 млн дол., DOD – 431 млн дол., DOE – 311 млн дол., NIH – 226 млн дол., NIST – 110 млн дол., NASA – 19 млн дол. [12, с. 92 – 94]. У той же час, в умовах фінансово-економічної кризи уряд США підготував низку антикризових заходів для підтримки інвестицій:

- 1) у другій частині антикризового плану Полсона (700 млрд дол. США у 2009 р.) передбачено зниження податків для фізичних осіб і збільшення інвестицій у розробку нових технологій, що, на думку експертів, повинно позитивно відбитись на розвитку наоіндустрії США;
- 2) план Президента Барака Обама передбачає підтримку розвитку нанотехнологій, але обсяги інвестицій і засоби підтримки наоіндустрії не розкриваються. На думку експертів, перевагу одержать *військові технології, енергетика, електроніка і охорона здоров'я*.

На **2011** фінансовий рік заплановано інвестиції за всіма напрямками програмних компонентів NNI, але найбільший обсяг фінансування буде виділено фундаментальним дослідженням щодо нанорозмірних явищ і процесів (521,6 млн дол. США), а також програмних компонентів – наоінструменти та наносистеми (507,5 млн дол. США) та наноматеріали (328,8 млн дол. США). Значні кошти виділяються також на створення нановимірної апарату-

ри (188,7 млн дол. США), на дослідження у сферах «нанометрологія та наностандарти» (83,6 млн дол. США) і «попередження соціальних наслідків застосування нанотехнологій та наноматеріалів для екології та здоров'я нації» (85,5 млн дол. США) [7, с. 130].

У табл. 4.12 наведено дані щодо фінансування досліджень у рамках NNI у 2009 – 2011 рр. [7, с. 130; 12, с. 91 – 92].

Таблиця 4.12

**Фінансування досліджень у рамках NNI США у 2009 – 2011 рр., млн дол. США**

№ з/п	Агентство	Роки реалізації NNI		
		2009	2010	2011
1	Національний науковий фонд NSF	397,0	428,7	412,1
2	Міністерство оборони (DOD)	431,0	439,6	415,4
3	Міністерство енергетики (DOE)	311,0	373,8	380,0
4	Міністерство торгівлі DOC (Національний інститут стандартів і технологій NIST)	110,0	114,7	95,9
5	Національне аерокосмічне агентство (NASA)	19,0	19,7	20,1
6	Інші, у тому числі:			
1	Міністерство охорони здоров'я NIH	226,0	456,8	456,8
2	Управління з охорони навколишнього середовища EPA	21,0	17,7	17,6
3	Міністерство сільського господарства USDA	10,0	13,2	13,2
4	Міністерство безпеки DHS	2,0	21,9	12,3
5	Міністерство юстиції DOJ	2,0	0,2	0,0
	<b>Повний обсяг фінансування в рамках NNI</b>	<b>1 527,0</b>	<b>1912,8</b>	<b>1850,3</b>

Разом з тим, за оцінкою експертів Національної дослідницької ради США (*National Research Council, NRC*), в рамках програми NNI не було розроблено стратегічну програму і методи запобігання ризиків для здоров'я і навколишнього середовища при використанні наноматеріалів.

Таким чином, не дивлячись на очевидну перспективність нанотехнологій і перші багатообіцяючі результати в області комерціалізації нанопродукції, США визнають, що більша частина продукції на базі нанотехнологій буде розроблена через достатньо довгий час. Однак приватні компанії бажають вже сьогодні знати економічну віддачу від нанопродукції. У більшості напрямів розвитку нанотехнологій приватний сектор буде не в змозі за звичайний 3 – 5 річний виробничий цикл розробити конкурентні продукти, що будуть окупати витрати на їх виготовлення на основі існуючих знань, – необхідні для цього фундаментальні НДДКР в області нано носять загальний, комплексний

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

характер, пов'язані з довгостроковою перспективою і занадто ризиковані для бізнесу.

Провідна роль уряду та фінансування ним наноіндустрії США необхідні для реалізації державної політики, створення нанотехнологічної інфраструктури і підтримки дослідників. Оскільки поки ще не сформовані ринки збуту основних нанотехнологічних продуктів, уряд поступово здійснює трансфер технологій приватним компаніям для прискорення довгострокової прибутковості. Інфраструктура і технології, що формуються, створюються для того, щоб промисловість мала можливість скористатися перевагами від нанотехнологічних відкриттів. Темп комерціалізації нанотехнологічної продукції, що прискорюється, обумовлює необхідність скорочення циклу від розробки до комерціалізації шляхом одночасного проведення фундаментальних досліджень і розробки комерційних продуктів, синергії промисловості, університетів і урядових структур.

У цей час більша частина нанотехнологічних досліджень США здійснюється в лабораторіях вищих навчальних закладів і університетів, тому саме ці академічні розробки формують образ нової технології. Основна частина таких досліджень фінансується Національним науковим фондом США (NSF), а частину робіт підтримують зацікавлені в результатах міністерства й урядові відомства (Міністерство оборони, Міністерство енергетики, Національний інститут здоров'я, НАСА, Міністерство сільського господарства й Агентство охорони навколишнього середовища).

##### 4.2.2. Фінансування і підтримка нанодосліджень Національним науковим фондом США

*Національний науковий фонд США (NSF)* – незалежна федеральна установа, які забезпечує фінансування науково-технічних досліджень у коледжах і університетах, що належать до найрізноманітніших наукових дисциплін. Для фінансування нанодосліджень NSF прийняв спеціалізовану *Програму для центрів підтримки нанонауки й наноінженерії (Nanoscale Science and Engineering, NSE)*. Ці центри охоплюють фінансовою підтримкою проекти самого різного масштабу й тривалості, від невеликих грантів (на один рік) до виділення великих сум на довготривалі (5 і 10 років) фундаментальні розробки [21, 22].

Основне завдання центрів полягає в підтримці міждисциплінарних і системних досліджень, а також в організації розвиненої інфраструктури досліджень і системи освіти. Кожний із центрів має спеціалізацію й керується власним баченням нанотехнологій. У цей час існує 17 таких центрів (*табл. 4.13*) [23, с. 114 – 115; 7, с. 125].

Таблиця 4.13

**Центри з нанонауки і наноінженерії, фінансовані Національним науковим фондом США (NSF)**

№ з/п	Університет	Центр і його спеціалізація	Час заснування
1	Північно-західний університет	Технології створення інтегральних нанопатернів і детектування	Вересень 2001
2	Корнельський університет	Наносистеми в інформаційних технологіях	Вересень 2001
3	Гарвардський університет	Наносистеми та їх застосування у пристроях	Вересень 2001
4	Колумбійський університет	Електронне перенесення в молекулярних наноструктурах	Вересень 2001
5	Університет Райса	Нанонаука для інженерних завдань біології й екології	Вересень 2001
6	Політехнічний інститут Ренслер, Іллінойський університет	Спрямоване складання наноструктур	Вересень 2001
7	Каліфорнійський університет	Центр виготовлення наномасштабних і об'єднаних структур	Вересень 2003
8	Іллінойський університет, Урбана-Шампань	Центр виготовлення наномасштабних хіміко-електромеханічних систем	Вересень 2003
9	Північно-західний університет, Массачусетський університет, університет штату Нью-Гемпшир	Центр з вивчення ефективних методів отримання наноструктур	Вересень 2004
10	Каліфорнійський університет (Берклі)	Центр з вивчення наномеханічних систем	Вересень 2004
11	Університет штату Огайо	Центр зі створення полімерних біомедичних нанопристроїв	Вересень 2004
12	Університет штату Пенсильванія	Центр вивчення молекулярних функцій на межі поділу нано/біо	Вересень 2001
13	Університет штату Вісконсин (Медісон)	Синтез на темплатах (підложках) і наномасштабне складання	Вересень 2001
14	Стенфордський університет	Центр зондових досліджень у нанотехнологіях	Вересень 2001
15	Університет А&М в Техасі	Центр з розробки інтелектуальних біо- і наноструктур для космічних апаратів	2005
16	Принстонський університет	Центр з біоконтролю, проектуванню і постачанню багатфункціональних нанокompозитних матеріалів	2005
17	Північно-східний університет у Бостоні	Вискошвидкісне нановиробництво. Навчання з нанонауки і наноінженерії	2006

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Міждисциплінарні дослідження ведуться групами (NIRT), які одержують на свої проекти чотирирічні гранти. При цьому до складу групи повинні входити не менше трьох провідних дослідників, що мають деякий досвід і популярність в галузі досліджень. Щорічно видається від 50 до 70 грантів цієї категорії.

Крім самого гранту, NSF надає здобувачам можливість користуватися двома національними мережами для розроблювачів нанотехнологій, тобто дає доступ до розвинутої інфраструктури вимірювальної апаратури й обчислювальної техніки:

- 1) Національної мережі нанотехнологічної інфраструктури (National Nanotechnology Infrastructure Network, NNIN) із щорічним фінансуванням 14 млн дол. США, метою якої є створення інфраструктури, що забезпечує всім зацікавленим легкий доступ до інформації й з іншими фахівцями із синтезу, дослідження, виготовлення й застосування нанооб'єктів;
- 2) Мережі обчислювальної нанотехнології (Network for Computation Nanotechnology, NCN), створеної у 2002 р., що поєднує кілька великих університетів, і основне значення якої складається в забезпеченні доступу споживачів і учасників до новітніх алгоритмів, методам моделювання, програм і комп'ютерів.

NSF, як один з найбільших отримувачів бюджетних ресурсів на проведення в наносфері фундаментальних і прикладних досліджень, фінансує широкий спектр наукових і інженерних дисциплін, наведених у *табл. 4.14* [7, с. 131].

*Таблиця 4.14*

#### Напрями фінансування NNI Національним науковим фондом США (NSF)

№ з/п	Напрямок	Рік				
		2004	2005	2006	2010	2011
1	Біологічні науки	5,31	47,0	49,0	56,67	56,6
2	Комп'ютери, інформаційні науки	17,56	18,48	12,0	12,95	11,0
3	Інжиніринг	108,88	127,77	127,77	152,5	148,0
4	Геонауки	7,94	7,94	9,0	0,85	0,85
5	Математичні й фізичні науки	111,48	132,14	141,54	199,11	190,59
6	Відділ міжнародної науки й інжинірингу	0,0	0,26	0,0	1,36	-
7	Соціальні, біхевіористські й економічні	2,59	1,56	1,56	1,73	1,67
8	Освіта і людські ресурси	2,29	3,07	2,90	3,5	3,5
	Разом	256,05	338,22	343,77	428,67	412,21

Аналізуючи й класифікуючи напрями розвитку нанотехнологій, Відділення нанонауки при NSF рекомендувало розділити всі дослідження в цій галузі на такі розділи, у рамках яких виконується ряд проблемних тематик (табл. 4.15) [23, с. 119 – 122].

Таблиця 4.15

**Розділи й тематика нанодосліджень, фінансовані Національним науковим фондом США (NSF)**

№ з/п	Розділ	Тематика	Проекти, яким надається особлива увага	Приклади досліджень, галузі комерціалізації
1	2	3	4	5
1	Нанометричні біосистеми	Фундаментальні дослідження нанобіоструктур, нанобіотехнології, біосинтезу й біообробки матеріалів, а також вирішення нанотехнологічних проблем щодо біоматеріалів, біоелектроніки, сільського господарства, енергетики й охорони здоров'я	Визначення залежності біологічних функцій речовини в нанометричному масштабі від його хімічного складу, поведінки окремих молекул і фізичних характеристик	1. Вивчення органел і субклітинних комплексів (типу рибосом – молекулярних моторів). 2. Створення нанорозмірних зондів і пристроїв для геноміки, протеоміки, клітинної біології. 3. Синтез наномасштабних матеріалів на основі принципів біологічного самоскладання
2	Наноструктури, нові явища й управління квантовими процесами	Вивчення нових ефектів і властивостей матеріалів у нанометричному масштабі, включаючи фундаментальні фізичні та хімічні явища, а також з розробкою апаратури, необхідною для експериментальних робіт і методик синтезу	Подолання факторів, що перешкоджають мініатюризації пристроїв до нанометричних розмірів	Області можливої комерціалізації: молекулярна електроніка, наноструктурні каталізатори, нові лікарські препарати, квантові комп'ютери, розрахунки ДНК-структур, розробка чипів з високим ступенем інтеграції, створення дво- і тривимірних наноструктур заданої форми, наномасштабна гідродинаміка (флюїдика), біофотоніка, проробка поверхні, процеси змащення наноповітря
3	Нанопристрої й архітектура систем	Розробка нових пристроїв і апаратури для складання, обробки та виготовлення нанооб'єктів, а також для будь-яких інших маніпуляцій, пов'язаних зі змінами масштабів і розмірів	Теорія проектування й архітектури нанооб'єктів, спеціалізоване програмне забезпечення, створення автоматичних систем складання з великого числа різноманітних нанооб'єктів	Створення «розумних» систем, здатних самостійно не тільки збирати й аналізувати інформацію, але й адекватно реагувати на неї



4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Продовження табл. 4.15

1	2	3	4	5
4	Наномасштабні процеси в оточуючому середовищі	Розуміння ролі наноструктур і нанопроцесів у навколишньому світі (від ядра Землі до верхніх шарів атмосфери)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вивчення походження, розподілу й складу безлічі наноструктур, що виникають природним шляхом при різноманітних фізико-хімічних умовах.</li> <li>2. Вивчення наномасштабних взаємодій на різноманітних поверхнях</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вивчення наномасштабних взаємодій на поверхнях органічних і неорганічних твердих тіл, рідин і газів, живих і неживих систем.</li> <li>2. Дослідження процесів біомінералізації наноструктур, молекулярного зв'язування на поверхнях мінералів, перенесення ультрадисперсних часток у колоїдах і аерозолях, зміни пилових частинок у міжпланетному просторі.</li> <li>3. Нові методи боротьби із забрудненням навколишнього середовища, нові методики очищення води, екологічно чисті джерела енергії (на основі фотосинтезу) і ін.</li> </ol>
5	Теорія великомасштабних і комплексних явищ, моделювання нанопроцесів	Розробка принципово нових теоретичних підходів, включаючи програмне забезпечення для великомасштабного комп'ютерного моделювання. Вирішення складних завдань у квантовій фізиці й хімії, моделюванні багаточасткових систем, молекулярній динаміці, наномеханіці та ін.	Вивчення великомасштабних і комплексних явищ у час, коли взаємодії у великих атомно-молекулярних системах дозволяють дослідникам «уловити» зв'язок між структурами, їх властивостями й функціональними характеристиками	Створення наноструктур із заздалегідь заданими властивостями й архітектурою, що представляє велику важливість для розвитку хімії й біології, а також для розробки електронних пристроїв, багатофункціональних матеріалів і т. ін.
6	Наномасштабні виробничі процеси	Розробка різних методів створення наноструктур (включаючи самоскладання) і подальшого їх об'єднання у великі наносистеми, а потім, можливо, і в макроскопічні об'єкти	Теоретичні й експериментальні методики виробництва й обробки, моделювання процесів створення нанопристроїв, економічна оцінка даних способів виробництва, пошук нових можливостей застосування й т. ін.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вивчення механізмів процесів у нанометричному масштабі й можливості використання нових інструментів.</li> <li>2. Вироблення загальнотеоретичних концепцій високошвидкісного синтезу наноструктур і їхньої обробки, а також розробка методів збільшення «обсягів виробництва».</li> <li>3. Створення в майбутньому великомасштабних виробництв, нових методів роботи, ефективної інфраструктури в нових галузях</li> </ol>

Закінчення табл. 4.15

1	2	3	4	5
7	Соціальні й освітні процеси, пов'язані з бурхливим розвитком нанотехнологій	Серйозне вивчення етичних, соціальних та інших проблем, які невідворотно виникатимуть у міру збільшення масштабів промислової революції. Прогнозування впливу науково-технічного прогресу на соціальні явища з метою визначення майбутнього місця нанотехнологій у комерції, охороні здоров'я й охороні навколишнього середовища	1. Істотні зміни в програмах наукової й професійної підготовки нового покоління у зв'язку з розвитком нових виробництв. 2. Проблема вибору пріоритетів розвитку	1. Проблеми подальшого розвитку штучного інтелекту (потенційно вищого, ніж людський). 2. Чи треба сприяти створенню усе різноманітніших наночасток із невивченим впливом на здоров'я людини й навколишнє середовище? 3. Як сполучати різнопланові інтереси вчених з різних галузей науки й техніки? 4. Як може бути врахований ризик використання й широкого впровадження нових технологій?

Крім семи перерахованих напрямків розвитку нанотехнологій, NSF уклав спеціальну угоду з величезною Корпорацією досліджень напівпровідникової техніки (Semiconductor Research Corporation, SRC) про включення в список восьмого напрямку досліджень, пов'язаного з наноелектронікою на кремнієвій основі (Silicon Nanoelectronics and Beyond). Тобто цей напрямок підтримується, насамперед, конкретним сектором економіки й потім NSF, що дозволяє організаціям, що фінансують, більш раціонально й продумано використовувати свої можливості.

#### 4.2.3. Розвиток нанодосліджень у федеральних лабораторіях США

У Національній нанотехнологічній ініціативі беруть участь багато федеральних відомств США, що займаються спеціалізованими або особливими напрямками нанотехнологічних досліджень (табл. 4.16) [23, с. 112 – 127].

З федеральних національних лабораторій США, що відіграють важливу роль у розвитку нанотехнологій, слід особливо зазначити Центр імені Еймса (NASA), Дослідницьку лабораторію Військово-морського флоту США, Національний інститут стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology, NIST). Нанотехнологіями займається також ціла мережа національних лабораторій, що належить Міністерству енергетики (Department of Energy, DOE), відповідальна в США за всі питання, що відносяться до атомної зброї й атомної енергетики. Безумовно, проведені в них дослідження безпосередньо пов'язані з потребами відомств, що ними керують.

## Напрямки нанотехнологічних досліджень основними урядовими відомствами США

№ з/п	Міністерство	Основні напрямки досліджень	Додаткова тематика
1	2	3	4
1	Міністерство оборони (DOD)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Розробки з матеріалознавства й широкого кола інших технічних проблем в інтересах збройних сил;</li> <li>Цивільне використання результатів розробок: нові типи каталізаторів, датчики, сонячні батареї, енергетичні пристрої, засоби захисту від хімічної, біологічної або радіаційної зброї</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Участь у фінансуванні безлічі досліджень, що відносяться до наноелектроніки, нанофотоніки й наномагнітних матеріалів, проектам по спіновій електроніці й квантовій інформатиці.</li> <li>При Масчусетському технологічному інституті створено Інститут армійської нанотехнології, що спеціалізується на передачі тих нанотехнологій, які можуть бути використані у військових цілях.</li> <li>Ініціатива міністерства з фінансування ряду міжінститутських досліджень (MURI), націлених на рішення спеціальних проблем</li> </ol>
2	Міністерство енергетики (DOE)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Вивчення фундаментальних властивостей речовини в нанометричному масштабі.</li> <li>Створення нових видів каталізаторів, енергетичних установок.</li> <li>Складання й архітектура наноб'єктів.</li> <li>Створення нових наноматеріалів</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Участь у фінансуванні робіт зі створення новітнього програмного забезпечення, що дозволяє моделювати наномасштабні й звичайні системи.</li> <li>Створення власної мережі з 5 науково-дослідних центрів з нанотехнологій (NSRCs) на базі потужних національних лабораторій уряду США (в Окриджі, Аргонні, Брук-хевейне, імені Лоуренса в Берклі, об'єднаний центр на базі лабораторій Сандія й Лос-Аламос), які надають академічним розробникам свої мікроскопи, джерела випромінювання, високоєфективну апаратуру й складне обладнання. Ці центри беруть активну участь у дослідженнях у матеріалознавстві й теоретичних розрахунках, що вимагають потужних комп'ютерів</li> </ol>
3	Національний інститут здоров'я (NIH)	<ol style="list-style-type: none"> <li>Дослідження медичної спрямованості для діагностики, запобігання й лікування захворювань, для розробки нової медико-біологічної апаратури для наукової та практичної роботи.</li> <li>Рання діагностика раку за допомогою контрастних агентів, що дозволяють виявити навіть невелику кількість ракових клітин.</li> </ol>	Фінансування безлічі інших досліджень, які не відносяться формально до нанотехнологій, але засновані на молекулярному підході, тобто на дослідженні й урахуванні процесів, що відбуваються в нанометричному масштабі

Закінчення табл. 4.16

1	2	3	4
4	Агентство захисту довкілля (EPA)	3. «Адресна» доставка препаратів в уражені ділянки без хірургічного втручання Методи виявлення й знешкодження екологічно небезпечних речовин	Вивчення впливу самих наноматеріалів і нанопорошків на здоров'я населення і стан навколишнього середовища (у 2004 р. розпочато програму EPA разом з NIH і NSF).
5	Космічне агентство (NASA)	1. Програми, що мають загальний характер: майбутнє «злиття» нанотехнологій, біотехнологій і інформаційних технологій, що дозволяють зрозуміти самоорганізацію структур у природі. 2. Розвиток авіаційно-космічної техніки: датчики для аналізу неземних матеріалів, системи контролю стану космонавтів і т. ін.). 3. Матеріалознавство: можливості використання нанотрубок в одержанні особливо міцних і легких матеріалів	NASA організувало чотири центри підтримки академічних досліджень (University Research, Engineering & Technology, URET), багато розробок яких відносяться до між-дисциплінарних проблем, пов'язаних саме з нанотехнологіями. Центри організовані на базі відділення Каліфорнійського університету в Лос-Аламос (UCSA), Техаського університету A&M, Принстонського університету й університету Пердью. Гранти видаються на дослідження протягом 5 років, але NASA при необхідності може продовжувати їх ще на 5 років

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

Крім цього, федеральні відомства підтримують академічні дослідження розвинутою системою грантів і контрактів, включаючи дві великі *програми підтримки інноваційних досліджень для малого бізнесу* (Small Business Innovation Research, SBIR) і *передачі технологій малому бізнесу* (Small Business Technology Transfer, STTR). Усі ці заходи часто сприяють власним розробкам національних лабораторій [24, с. 179 – 183].

Історично у США склалася ситуація, при якій національні лабораторії створюють нові пристрої, процеси й навіть цілі технології, виходячи із замовлень і потреб керуючих ними відомств. У той же час, ці лабораторії є багатим джерелом ідей і можливостей впровадження для приватного сектора економіки країни. При цьому федеральні лабораторії дуже рідко самі займаються «розкручуванням» створених ними комерційних продуктів. Звичайно результати розробок за допомогою добре налагодженого механізму передачі технологій надходять у комерційний сектор економіки.

Наприклад, у NASA ліцензуванням нових технологій займається спеціальний Відділ технологічного партнерства (Office of Technology Partnership). Крім цього, NASA видає спеціальний щомісячник *NASA Tech Briefs*, у якому відомство саме пропонує й описує інноваційні розробки, готові до ліцензування й продажу. У цей час NASA створило по країні мережу центрів передачі технологій, націлених на використання конкретних проектів для розвитку промисловості в конкретних регіонах. У таких центрах регулярно проводяться науково-технічні й практичні конференції за участі представників NASA.

Як приклад ефективної роботи механізму передачі технологій можна привести діяльність нанотехнологічної лабораторії в Центрі імені Еймса (NASA), що веде широкі дослідження в галузі матеріалознавства (вуглецеві нанотрубки, неорганічні нанопроволоки, органічні молекули й білкові нанотрубки, що проводять). Область застосування таких матеріалів потенційно охоплює безліч галузей науки й промисловості: наноелектроніка, обчислювальна техніка, запам'ятовуючі пристрої, нанорозмірні лазери, хімічні й біологічні датчики, детектори УФ- і ІЧ-випромінювання. Ці матеріали знайдуть безліч застосувань у системах життєзабезпечення космонавтів, включаючи переробку відходів, очищення води й повітря, контроль стану організму й т. ін. Співробітники цієї лабораторії самі організували (старт-ап) компанії, що займаються передачею технологій. Крім регулярних зустрічей і добре організованої інформаційної роботи, Центр імені Еймса розвинув ще одну форму співробітництва із зацікавленими в передачі технологій компаніями, названу Угодою (SAA – Space Act Agreement). Цей юридичний документ є типовою угодою про співробітництво між двома сторонами в розробці якого-небудь продукту або процесу, у якому

чітко обумовлені права та обов'язки сторін при комерціалізації й маркетингу продукції.

**Міністерство охорони здоров'я** одержує чи не найбільші обсяги бюджетного фінансування, особливо за напрямом «наноінструменти і наносистеми» (244 млн дол. США з коштів, виділених цьому міністерству на 2011 р. в рамках NNI у загальному обсязі 456,8 млн дол. США (див. табл. 4.12)) [7, с. 131]. Підпорядковані цьому міністерству:

- Національний інститут охорони здоров'я (NIH) – використовує нанотехнології у біомедичних дослідженнях, в тому числі при лікуванні ракових захворювань;
- Національний інститут професійних захворювань і безпеки праці (NIOSH) – проводить дослідження з безпеки робочих місць у зв'язку із застосуванням нанотехнологій.

**Міністерство енергетики США** має центри з нанотехнологічних досліджень (Nanoscale Science Research Centers, NSRC), які проводять регулярні зустрічі між фахівцями з різних організацій, а також постійно інформують користувачів про можливості приладів і контрольно-вимірювальної апаратури, що надаються цими центрами. Дослідники, які погодились публікувати результати досліджень у відкритій пресі, одержують прилади, матеріали й технічне обслуговування безкоштовно, а ті, хто бажає зберегти права на отриману інформацію, оплачують тільки прямі видатки центра на їхнє обслуговування.

Військово-дослідницькі лабораторії **Міністерства оборони США** (DOD) здійснюють великомасштабні розробки в декількох напрямках:

- інтенсивна розробка різноманітних високочутливих датчиків для реєстрації наявності хімічної, біологічної і ядерної зброї;
- дослідження революційних змін у цілому ряді наук (електроніка, оптоелектроніка, фотоніка), що мають пряме відношення до процесів збору, обробки й передачі інформації. Ці відкриття дозволять уже в найближчому майбутньому значно знизити вагу індивідуальних засобів зв'язку без зниження функціональних можливостей.

У період 2001 – 2008 рр. основна частина фундаментальних досліджень Міністерства оборони США в галузі нанонауки була сконцентрована в програмі «Оборонні дослідження університетів в галузі нанотехнології» – Defense University Research Initiative on NanoTechnology (DURINT). Ця програма є складовою частиною програми «Міждисциплінарні дослідження в системі вищої освіти (MURI)», що, у свою чергу, входить у бюджетну програму «Університетські дослідження» – University Research Initiative (URI). У рамках

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

DURINT виділено 15 науково-технічних напрямків досліджень, які наведені у табл. 4.17 [25].

Таблиця 4.17

#### Науково-технічні напрямки досліджень у рамках програми DURINT в інтересах Міністерства оборони США

№ з/п	Науково-технічний напрямок досліджень	Координатор робіт	Головний виконавець
1	2	3	4
1	Нанорозмірні машини й двигуни	Відділ наукових досліджень армії США (ARO)	Університет Колорадо
2	Молекулярне керування процесами формування нанoeлектронних наномагнітних структур. Молекулярні ансамблі, одиничні молекули – «функціональні» молекули, нанорозмірні молекулярні стрижні й дроти	Відділ наукових досліджень армії США (ARO)	Університет Вашингтона
3	Наноматеріали й наноконструкції для джерел енергії (нанорозмірні елементи й системи для джерел і перетворювачів енергії)	Відділ наукових досліджень армії США (ARO)	Університет Вашингтона
4	Методи оцінки властивостей і характеристик нанорозмірних елементів, устроїв і систем (методи комплексного діагностування властивостей наноструктур)	Відділ наукових досліджень армії США (ARO)	Стивенсовський технологічний інститут
5	Наукові основи технологій виробництва вуглецевих нанотрубок	Відділ наукових досліджень ВМС США (ONR)	Університет Райса
6	Нанорозмірні електронні пристрої й архітектура їхньої побудови	Відділ наукових досліджень ВМС США (ONR)	Принстонський університет
7	Структури з тунельно-прозорими бар'єрами (системи квантових ям і надрешітки), квантові дроти. Процеси формування для елементної бази нанoeлектроніки	Відділ наукових досліджень ВМС США (ONR)	Університет Карнегі Меллон
8	Деформація, ушкодження й руйнування в наноструктурах	Відділ наукових досліджень ВВС США (AFOSR)	Університет Каліфорнії
9	Наноструктури – каталізatori хімічних реакцій	Відділ наукових досліджень ВВС США (AFOSR)	Каліфорнійський університет
10	Полімерні нанокompозити (високотемпературні й високоміцні) для літальних апаратів (космічні апарати, авіаційна техніка, КР, УР і гіпершвидкісні літальні апарати)	Відділ наукових досліджень ВВС США (AFOSR)	Масачусетський технологічний інститут
11	Органічні матеріали для нанорозмірної електроніки й оптоелектроніки	Відділ наукових досліджень ВВС США (AFOSR)	Нью-Йоркський держуніверситет
12	Квантові обчислення й пристрої, що реалізують механізми квантових обчислень (прилади на квантових ефектах)	Відділ наукових досліджень ВВС США (AFOSR)	Масачусетський технологічний інститут, Нью-Йоркський держуніверситет

Закінчення табл. 4.17

1	2	3	4
13	Біомолекулярні системи (перетворювачі сигналів, чутливі елементи датчиків) на основі нанобіотехнологій	Відділ оборонних наук МО США (DSO DAPRA) і відділ наукових досліджень BBC США (AFOSR)	Норвестенський університет
14	Синтез і модифікація наноструктурних поверхонь	Відділ оборонних наук МО США (DSO DAPRA) і відділ наукових досліджень BBC США (AFOSR)	Південно-Каліфорнійський університет
15	Магнітні наноструктури й наночастки для застосування в біотехнологіях	Відділ оборонних наук МО США (DSO DAPRA) і відділ наукових досліджень BMC США(ONR)	Гарвардський університет

Тематику нанотехнологічних розробок, здійснюваних Дослідницькою лабораторією військово-морських сил США (NRL) наведено у табл. 4.18. Деякі роботи проводяться відділами лабораторії разом з Інститутом нанонауки [26 – 28].

Таблиця 4.18

**Тематика нанотехнологічних розробок, здійснюваних Дослідницькою лабораторією військово-морських сил США (NRL)**

№ з/п	Галузь нанотехнологій	Тематика розробок
1	2	3
I. Інститут нанонауки		
1	Наноскладання	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нановолокна (взаємодії, обробка, складання структур);</li> <li>▪ хімічне складання багатфункціональних елементів;</li> <li>▪ спрямоване самоскладання біологічних наноструктур;</li> <li>▪ одержання молекулярних відбитків (імпринтів) з використанням матриць (темплатів);</li> <li>▪ складання наноструктур з використанням матриць</li> </ul>
2	Нанооптика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Створення матеріалів для фотоніки з регульованою шириною заборонної зони;</li> <li>▪ люмінесцентні квантові точки на основі органічних і біологічних з'єднань;</li> <li>▪ світловипромінюючі матеріали й пристрої на основі органічних сполук;</li> <li>▪ керування наномасштабними процесами у квантових точках;</li> <li>▪ фотогальванічні нанопристрої</li> </ul>
3	Нанохімія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Функціональні дендримірні матеріали;</li> <li>▪ Нанопристрої на основі полімерів і супрамолекулярних з'єднань</li> </ul>
4	Наноелектроніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження когерентності в наноструктурах і можливостей її використання;</li> <li>▪ створення інтерфейсів «мозок/електронний пристрій»;</li> <li>▪ створення нанокластерних електронних пристроїв на основі макромолекулярних матриць</li> </ul>



4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.18

1	2	3
5	Наномеханіка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Техніка нанометричних вимірів;</li> <li>▪ нанохімічні резонатори й проблеми нанодинаміки</li> </ul>
II. Відділ хімії NRL		
1	Хімічне матеріалознавство	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Хімічні датчики на основі нанокластерів золота;</li> <li>▪ самоскладання/опис архітектури наноструктур;</li> <li>▪ просторово-керований синтез органічних структур на поверхні напівпровідників;</li> <li>▪ створення композитних матеріалів з металевими наночастками;</li> <li>▪ розробка теорії вуглецевих наноструктур</li> </ul>
2	Хімія поверхонь	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноструктурні мезопористі матеріали / Аерогелі;</li> <li>▪ нановолокна;</li> <li>▪ поверхневі випромінювачі (матриці) на основі вуглецевих нанотрубок;</li> <li>▪ синтез нанокристалів;</li> <li>▪ наномеханіка / нанотрибологія;</li> <li>▪ одержання кремнієвих і германієвих поверхонь із високими показниками переломлення;</li> <li>▪ гетероструктури типу III – V ;</li> <li>▪ нанолітографія;</li> <li>▪ використання наноструктур InAs у датчиках;</li> <li>▪ одномолекулярні біодатчики.</li> </ul>
III. Відділ оптики NRL		
1	Органічні світловипромінюючі матеріали й пристрої	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Двомірні фотонні кристали / Фотонні матеріали з регульованою шириною заборонної зони;</li> <li>▪ вивчення ширини заборонної зони у фотонних матеріалах скануючими мікроскопами ближнього поля;</li> <li>▪ оптоелектронні пристрої з регульованою шириною заборонної зони на основі Ga</li> </ul>
IV. Відділ електроніки NRL		
1	Матеріали й технології для електроніки	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Матриці скляних мікроелектродів з наноканалами;</li> <li>▪ двовимірні мультиплексні матриці;</li> <li>▪ створення модельного інтерфейсу «мозок / електронний пристрій». Моделювання роботи сітківки ока;</li> <li>▪ дослідження обчислювальних процесів у біологічних системах;</li> <li>▪ люмінесцентні нанокристалічні частки;</li> <li>▪ електростатична стимуляція самоскладання квантових точок на основі біоконьюгатів;</li> <li>▪ зв'язування мальтози білком. Флуоресцентна проба на мальтозу;</li> <li>▪ реєстрація слідових кількостей вибухових речовин у морській воді;</li> <li>▪ створення нанорозмірних транзисторів з високою рухливістю електронів (HEMT) на основі InAs;</li> <li>▪ створення нанорозмірних квантових структур на основі InAs /AISb);</li> <li>▪ електронні пристрої й датчики на основі кластерів золота;</li> <li>▪ дослідження процесів зростання й спектроскопічних характеристик напівпровідникових квантових точок;</li> <li>▪ спінова динаміка в напівпровідниках;</li> <li>▪ теорія напівпровідникових наноструктур;</li> <li>▪ виготовлення наноструктур (подолання бар'єра точності 10 нм).</li> </ul>

Тематику нанотехнологічних розробок у Дослідницькій лабораторії сухопутних сил США (ARL), виділену на основі аналізу списку ключових понять у документі [26] Міністерства оборони США, наведено у табл. 4.19.

Таблиця 4.19

**Тематика нанотехнологічних розробок, здійснюваних Дослідницькою лабораторією сухопутних сил США (ARL)**

№ з/п	Галузь нанотехнологій	Тематика розробок
1	Біологія	Нанобіологічне детектування
2	Електроніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Інфрачервоні датчики на основі квантових «стінок»;</li> <li>▪ напівпровідникові наноструктури;</li> <li>▪ наноелектронні матеріали;</li> <li>▪ квантові точки;</li> <li>▪ поверхневі лазери з вертикальним резонатором, квантова оптика</li> </ul>
3	Матеріалознавство	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Композиційні матеріали з нанопорошковими наповнювачами;</li> <li>▪ полімерні наноструктури / наноматеріали;</li> <li>▪ нанокераміка;</li> <li>▪ модифікація енергетичних матеріалів;</li> <li>▪ наноструктуровані сітчасті композити;</li> <li>▪ вирощування наноматеріалів;</li> <li>▪ високоенергетичні наноматеріали, засоби бронезахисту;</li> <li>▪ наноструктуровані й «нановізерункові» (nanopatterned) матеріали</li> </ul>
4	Фізика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Квантові інформаційні технології й системи;</li> <li>▪ нанофізика;</li> <li>▪ мезофіка</li> </ul>

Тематику нанотехнологічних розробок у Дослідницькій лабораторії військово-повітряних сил США (AFRL), виділену на основі аналізу списку ключових понять у документі [26], наведено у табл. 4.20.

Таблиця 4.20

**Тематика нанотехнологічних розробок, здійснюваних Дослідницькою лабораторією військово-повітряних сил США (AFRL)**

№ з/п	Галузь нанотехнологій	Тематика розробок
1	2	3
1	Біологія	Нанобіомиметика
2	Хімія	Самоскладання
3	Електроніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Енергетичні матеріали;</li> <li>▪ наноелектроніка;</li> <li>▪ магнітні наночастки;</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.20

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ молекулярні обчислювальні пристрої;</li> <li>▪ теорія наноструктур;</li> <li>▪ квантові точки для так званих «гіперспектральних» (hyperspectral) пристроїв;</li> <li>▪ нанолітографія з використанням хвиль де Бройля (хвиль речовини);</li> <li>▪ терагерцова техніка</li> </ul>
4	Матеріалознавство	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноструктурні композити;</li> <li>▪ багатовимірне моделювання процесів;</li> <li>▪ вуглецеві нанотрубки й пористі матеріали;</li> <li>▪ вуглецеві нанотрубки й волокна;</li> <li>▪ нанокompозити;</li> <li>▪ нанофазні метали й кераміка;</li> <li>▪ наноструктурні матеріали, нанокompозити, одержання нанополімерних матеріалів;</li> <li>▪ конструкційні матеріали для виготовлення наноструктур</li> </ul>
5	Фізика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноструктурні оптичні матеріали;</li> <li>▪ наноструктурні оптичні матеріали; теорія, моделювання й розрахунок характеристик;</li> <li>▪ нанотрибологія;</li> <li>▪ квантові інформаційні й обчислювальні системи</li> </ul>

Деякі з пов'язаних з нанотехнологіями проектів (в атомній сфері), фінансованих у рамках внутрішніх програм НДДКР Ліверморської національної лабораторії імені Лоуренса [29], наведено у табл. 4.21.

Таблиця 4.21

#### Деякі нанотехнологічні проекти, здійснювані Ліверморською національною лабораторією імені Лоуренса

№ з/п	Галузь застосування	Тематика й цілі проекту
1	2	3
1	Нові типи датчиків і контрольної апаратури	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Реєстрація окремих часток для застосувань в галузі геноміки;</li> <li>▪ створення проникних мембран з вуглецевих нанотрубок;</li> <li>▪ використання атомно-силових мікроскопів для дослідження властивостей біоклітин і клітинних оболонок;</li> <li>▪ одержання з діоксиду кремнію (методами золь-гель) фотолюмінесцентних наноструктурних матеріалів, що володіють здатністю молекулярного розпізнавання</li> </ul>
2	Хімія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Створення за допомогою лазерної техніки полімерних молекул з біохімічними імпринтами (відбитками)</li> </ul>
3	Техніка й виробництво	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Виготовлення наномасштабних об'єктів;</li> <li>▪ виробництво нанофільтрів для екстракції металів</li> </ul>

Закінчення табл. 4.21

1	2	3
4	Матеріалознавство	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Використання нанотехнології з метою забезпечення режиму нерозповсюдження небезпечних видів зброї;</li> <li>▪ підвищення міцності й пластичності об'ємних нанокристалічних матеріалів;</li> <li>▪ використання нанолітографії для контрольованого осадження білків;</li> <li>▪ вивчення наноструктур актинідів;</li> <li>▪ акумуляція водню у вуглецевих нанотрубках при високому тиску;</li> <li>▪ створення нанокомпозитів (що включають магнітні наночастки з обмінним зв'язком), які володіють магнітострикційними властивостями</li> </ul>
5	Математика й обчислювальна техніка	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Вирішення завдань молекулярної динаміки (з так званих «перших принципів») на надпотужних комп'ютерах нового типу;</li> <li>▪ організація контролю процесів у штучних й біологічних наноструктурах</li> </ul>
6	Фізика	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Математичне моделювання поведінки «розумних» наноструктур;</li> <li>▪ розвиток техніки управління для атомарних і молекулярних пучків, що зіштовхуються, у масштабі нанометрів</li> </ul>

Міністерство оборони розробило кілька власних механізмів передачі технологій. Справа в тому, що лабораторії цього міністерства не прагнуть до комерціалізації результатів своєї діяльності, а керуються принципом вирішення конкретних проблем, які виникають перед військовими відомствами й окремими родами військ. Армійські служби виявляють проблеми, складності й завдання, які виникли перед військовими при виконанні своїх обов'язків і бойових завдань, і на цій основі складають списки пріоритетних потреб, які потім передають їх армійським науково-дослідним лабораторіям для пошуку рішень. Крім цього, для проведення додаткових досліджень і оцінки наукової цінності результатів армійські науково-дослідні лабораторії можуть укладати угоди про співробітництво із зовнішніми компаніями, університетами або іншими установами в рамках так званої Угоди про спільні дослідження (Cooperative Research and Development Agreement, CRADA). Така практика допомагає лабораторіям одночасно зберігати фінансові кошти й одержувати кваліфіковану наукову допомогу або експертну оцінку.

Таким чином, фахівці як у США, так і в інших технологічно розвинених країнах сходяться в тому, що впровадження нанотехнологій і біотехнологій спричинить серйозний економічний ефект у більшості галузей економіки (збільшення ефективності виробництва від 2 до 10 разів і більше) [30]. Виконання подібних досліджень і розробок в Україні при тісній взаємодії зі США, Європейським Союзом, Японією, Китаєм, Кореєю, Росією й іншими розвиненими країнами дозволить підняти рентабельність провідних галузей народного господарства, забезпечити подальший науково-технічний прогрес і розвиток

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

матеріального виробництва, зміцнити державну безпеку, поліпшити якість середовища перебування людини й підвищити добробут населення.

##### 4.3. Напрямки розвитку нанотехнологій у Японії

Починаючи з кінця 1980-х років у Японії розпочався розвиток державної політики в області нанотехнологій [28]. У 1990 р. Агентство науки і технологій (Japan Science and Technology, JST) розпочало фінансування в рамках Програми експериментальних досліджень для передових технологій (Exploratory Research for Advanced Technology, ERATO) [29]. З 1991 р. у Японії здійснювалися близькі за тематикою програми (наприклад, «Атомні технології» і т. п.). При реалізації таких програм кожне з японських відомств і міністерств створює свою власну «вертикальну» систему керування й зв'язку. Однак розвиток нанотехнологій у багатьох галузях найчастіше вимагає створення зовсім інших, корпоративних, тобто «горизонтальних» систем керування й зв'язку (наприклад, для об'єднання досліджень в інформаційних технологіях, медицині й біології). Тому державна стратегія прискореного розвитку нанотехнологій повинна містити в собі й зусилля по «об'єднанню» різноманітних ізольованих наукових розробок.

*Об'єднана науково-технічна Рада з узгодження і міждисциплінарному співробітництву* (Council for S&T Policy) була створена 06.01.2001 р. на чолі з Прем'єр-Міністром Японії. У цей час Рада займається виробленням загальнодержавної стратегії в розвитку науки й техніки, а також розробкою й реалізацією **Основного плану в галузі науки і технологій** (Science and Technology Basic Plan) – стратегії держави в області науки, що формується кожні п'ять років [30]. За п'ять років відповідно до цього плану було витрачено на науково-технічні дослідження приблизно 200 млрд дол.! (або 1% валового національного продукту щорічно) [2, с. 114 – 115]. За реалізацію вказаної стратегії відповідає *Агентство науки і технологій* [12, с. 94].

*Японська Економічна Асоціація (Кейданрен)*, яку сьогодні часто називають «штабом японського бізнесу», має основним завданням підвищення конкурентоспроможності японських компаній на світових ринках і збереження їх лідерства у ключових галузях науки, техніки і виробництва. Кейданрен утворила спеціальний промислово-технологічний комітет з нанотехнологій, що повинен вивчати найбільш важливі для Японії.

Стратегія Японії у розвитку нанотехнологій має такі основні *особливості* [2, с. 117]:

- відбір науково-технічних напрямків, що мають особливе значення для створення суспільства «гармонії з навколишнім середовищем»;
- достатнє фінансування найбільш важливих соціальних і промислових програм з нанотехнологій;
- вибір найважливіших нанотехнологічних розробок, які можуть бути досить швидко (5 – 10 років) впроваджені в промислове виробництво, тобто можуть стати «флагманськими» напрямками майбутніх революційних перетворень промисловості;
- вироблення загальнодержавної стратегії Японії з нанотехнологій, організація ефективного співробітництва наукових, промислових і державних відомств у процесі проведення досліджень і впровадження їхніх результатів у виробництво.

Сьогодні **Національна стратегія нанотехнологій** (National Nanotechnology Strategy, NNS) характеризується певними параметрами, що наведені у *табл. 4.22* [12, с. 94 – 97].

На основі попереднього вивчення напрямків досліджень в області нанотехнологій комітет Кейданрен у березні 2001 р. опублікував доповідь «Нанотехнологія й майбутнє суспільство. n-Plan21», у якій намічено основні напрями розвитку й цілі використання нанотехнологій у Японії. У запропонованій Кейданрен програмі всі дослідження розбиті на три категорії, умовно названі «флагманськими», перспективними й фундаментальними. Відповідно до цієї класифікації у *табл. 4.23* наведено найважливіші напрямки й фінансування нанотехнологічних досліджень у Японії [2, с. 119 – 125].

Японія у період 1997 – 2006 рр. інвестувала у розвиток і комерціалізацію нанотехнологій практично 5,5 млрд дол. США, що наведено у *табл. 4.24* [34]. У часовому інтервалі 2006 – 2010 рр. Японія також є лідером за обсягами інвестицій у нанотехнології (більше 1,0 млрд дол. США щорічно).

Особливістю сучасного фінансування урядом Японії наноіндустрії є той факт, що не дивлячись на величезну увагу уряду до досліджень в області нанотехнологій, більшість його витрат припадає на приватний сектор. За останній час різні міністерства при уряді також виявляють зацікавленість у фінансуванні дослідницьких завдань, особливо в нових і перспективних областях нанотехнологій. Крім того, виділяються кошти відомим дослідницьким лабораторіям.

У *табл. 4.25* наведені провідні японські організації, що беруть участь в нанотехнологічних програмах [12, с. 96 – 97].

## Основні параметри Національної стратегії нанотехнологій (NNS) Японії

## 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Завдання		Головні постулати зростання		Ключові суб'єкти наноіндустрії		Державні програми	
№ з/п	Перелік завдань	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік суб'єктів	№ з/п	Перелік програм
1	Підвищення якості життя з використанням технологій атомного і молекулярного рівня (за рахунок ультра-легких мініатюрних продуктів високої чутливості і точності – компактний телефон-телефон, мініатюрні медичні пристрої)	1	Інноваційний характер економіки – формуванням нанотехнологій сприяє висока динаміка розвитку галузей високих технологій, оборони державою у якості пріоритетних [31]	1	Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>Кабінет Прем'єр-міністра;</li> <li>Рада з політики в області науки і технологій;</li> <li>Міністерство економіки торгівлі і промисловості, Агентство науки і технологій;</li> <li>Міністерство освіти, культури, науки і технологій</li> </ul>	1	Індустріальна науково-технологічна програма (ISTF) [29] <ul style="list-style-type: none"> <li>Квантові пристрої;</li> <li>пристрої біоелектроніки;</li> <li>переміщення атомів і молекул у наноструктурах</li> </ul>
2	Забезпечення умов безпеки для життя суспільства: високочутливі, вибірково-реагуючі тестові і моніторингові системи (наносенсори, нанофільтри), високоміцні і легкі матеріали (нановолокна і нанокомпозити для одягу, будівництва, космосу тощо)	2	Систематизовані дії держави з розвитку всього ланцюжку – від створення нових технологій до їх комерціалізації і масового впровадження	2	Мезорівень: крупні корпорації, університети і лабораторії з державною підтримкою	2	Програма дослідження наноструктур (STA, ERATO тощо) <ul style="list-style-type: none"> <li>Квантові дослідження</li> </ul>
3	Забезпечення стійкого розвитку нанотехнологій за рахунок оптимізації/скорочення споживання енергії (сонячні панелі, нанобатареї, нанофотокаталізатори тощо)	3	Значні фінансові ресурси, що виділяються не тільки державою, але й крупними корпораціями на розвиток і підтримку дослідницької діяльності [32]	3	Мікрорівень: компанії малого і середнього бізнесу (повний перелік компаній наведено на сайті [33])	3	Програма зі створення нових вимірювальних приладів (DNND)
4	Оптимізація виробництва з використанням атомного і молекулярного рівнів (автоматизація збирання в нанотехнологіях)						<ul style="list-style-type: none"> <li>Нові мікроскопи, настільні лабораторії тощо</li> </ul>

Таблиця 4.23

Найважливіші напрямки й фінансування нанотехнологічних досліджень у Японії

№з/п	Категорія проєктів і їхні характеристики	Галузь фінансованих досліджень	Очікувані результати
1	2	3	4
		I. Флагманські розробки	
		1.1. Напівпровідникові технології XXI століття: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ дешеві й високоєфективні нанорозмірні напівпровідникові прилади;</li> <li>▪ нові матеріали й нові пристрої;</li> <li>▪ нова техніка монтажу й складання структур</li> </ul>	Створення надмініатюрних напівпровідникових пристроїв і приладів
1	Проєкти категорії 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ короткострокові і перспективні для впровадження;</li> <li>▪ погоджені із SOE (Center of Excellence), тобто із центрами, що забезпечують взаємодію й зв'язок різних організацій</li> </ul>	1.2. Терабтові запам'ятовувальні пристрої: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нові матеріали для запам'ятовувальних середовищ і голівок, що зчитують;</li> <li>▪ нові конструкції голівок, що зчитують;</li> <li>▪ прецизійні приводи (позиціонери);</li> <li>▪ запис інформації з використанням випромінювання ближнього поля</li> </ul> 1.3. Розвиток технології мережних пристроїв: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ фотоніка, нові типи хвилеводів;</li> <li>▪ електронні пристрої зі надширокою забороненою зоною</li> </ul>	Підвищення щільності запису до терабіт / кв. дюйм  Доведення пропускну здатності оптичних ліній зв'язку до 1 петабіта/ кв. дюйм, а радіоліній – до 10 гігабіта / кв. дюйм
		II. Перспективні проєкти	
		2.1. Нанотехнологічні матеріали: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ надлегкі й надміцні конструкційні матеріали;</li> <li>▪ зносостійкі матеріали;</li> <li>▪ біосумісні матеріали</li> </ul> 2.2. Біонаносистеми: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ лабораторії-на-чипі</li> </ul> 2.3. Нанопристрої: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ однокілеелектронні пристрої;</li> <li>▪ оптоелектронні пристрої;</li> </ul>	Створення абсолютно нових «революційних» пристроїв і структур з наноматеріалів (нанокристали, наноплівки, нанотрубки)  Створення нових аналітичних систем на основі об'єднання методів біології й нанотехніки
2	Проєкти категорії 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ вивчення цілей і можливостей проєкту;</li> <li>▪ узгодження проєкту із SOE;</li> <li>▪ розробка планів і встановлення строків реалізації (включаючи підготовку венчурних виробництв)</li> </ul>		Створення наступного покоління напівпровідникових приладів



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.23

1	2	3	4
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ спінова електроніка;</li> <li>▪ надпровідні пристрої;</li> <li>▪ гнучкі електронні пристрої з органічних матеріалів</li> </ul>	<p>2.4. Нановимірювальна техніка:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ підвищення точності вимірів електронним лучком;</li> <li>▪ підвищення можливостей зондової техніки;</li> <li>▪ оптичні виміри;</li> <li>▪ нанометри й лінійні виміри</li> </ul> <p>2.5. Нанообробка матеріалів:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розвиток технологій «згори-донизу»;</li> <li>▪ розвиток технологій «знизу-нагору» і методів самоскладання;</li> <li>▪ вивчення можливостей об'єднання технологій «згори-донизу» і «знизу-нагору»</li> </ul> <p>2.6. Методи моделювання наносистем:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ автоматизоване проектування пристроїв;</li> <li>▪ моделювання виробничих процесів</li> </ul>	<p>Розробка високоточної вимірювальної техніки й обробної апаратури для нановиробництва</p> <p>Організація великих промислових виробництв із використанням нанотехнологій</p> <p>Розвиток методів моделювання промислових нанотехнологічних процесів</p>
<p>3</p> <p>Проекти категорії 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ особлива цінність оригінальних індивідуальних розробок;</li> <li>▪ необхідність «кластеризації» досліджень</li> </ul>	<p>III. Фундаментальні дослідження</p> <p>3.1. Дослідження властивостей і функцій наноструктур:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ вивчення властивостей і функцій нанокристалів, решіток, квантових точок, атомів, молекул, геномів і білків;</li> <li>▪ фундаментальні дослідження нових типів обчислювальних систем;</li> <li>▪ вивчення ресурсозберігаючих і енергозберігаючих наносистем;</li> <li>▪ фундаментальні дослідження процесів самоскладання</li> </ul> <p>Дослідження процесів виміру:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка методик виміру електричних і магнітних станів, а також структури й властивостей різноманітних нанооб'єктів;</li> <li>▪ розробка методик виміру з високим часовим дозволом і достатньою точністю;</li> <li>▪ створення нових типів мікроскопів і зондів</li> </ul> <p>Розвиток теоретичних, аналітичних і обчислювальних методів</p>	<p>Виникнення нових напрямків розвитку нанонауки;</p> <p>розробка й реалізація нових проєктів</p>	

Таблиця 4.24

**Інвестиційна програма розвитку наоіндустрії Японії, млн дол. США**

№з/п	Рік	Фінансування	№з/п	Рік	Фінансування
1	1997	120,0	6.	2002	750,0
2	1998	135,0	7.	2003	810,0
3	1999	157,0	8.	2004	875,0
4	2000	245,0	9.	2005	950,0
5	2001	465,0	10.	2006	975,0
<b>Усього: 5 482,0</b>					

Таблиця 4.25

**Провідні японські організації, що беруть участь в нанотехнологічних програмах**

№ з/п	Тип	Університет / дослідницький центр	Область досліджень
1	Університет	Університет Наго	Дослідження наночастинок шляхом механічного подрібнення і сферичного фрезерування
2	Університет	Університет Кіото	Дослідження синтезу нанокристаличних матеріалів шляхом механічного сплавлення
3	Університет	Університет Осаки	Дослідження взаємозв'язків між наноструктурою і механічними властивостями наноматеріалів
4	Університет	Університет Токіо	Дослідження надпластичності наноструктурованих матеріалів, оптичних властивостей нанокompatитів, синтезу нанокompatитів, ефектів квантового обмеження
5	Промисловість	Nissan Chemical Industries	Виробництво колоїдних дисперсій наночастинок оксидів, органічних дисперсій кремнію, алюмінію та інших речовин
6	Промисловість	Науково-дослідний центр Toshiba	Виробництво сферичних наночастинок із застосуванням термічної плазми, фероелектричних матеріалів, сучасних GMR
7	Промисловість	Центральна дослідницька лабораторія Hitachi	Дослідження, пов'язані з полікремнієвими транзисторами, ланцюговою матрицею чарунок пам'яті одноелектронними транзисторами, квантовими точками і квантовими проводами
8	Промисловість	ULVAC Japan Ltd.	Створення ультратонких частинок і ультратонких частинок з покриттям
9	Промисловість	NEC	Дослідження нановиробництва з використанням літографії і кремнієвими, вуглецевими і германієвими кластерами
10	Урядове агентство	Центр спільних досліджень атомної технології	Створення і управління атомами і кластерами, теоретичне моделювання, формування наноструктур
11	Урядове агентство	Інститут фізичних і хімічних досліджень	Формування наноструктур, точок зростання квантових проводів

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

У третьому п'ятирічному плані розвитку науки і технологій на період 2006 – 2010 рр. нанотехнології розглядаються як один з ключових пріоритетів. Його відмінною особливістю є зміщення акцентів у бік підтримки міждисциплінарних і фундаментальних досліджень. У 2005 р. Міністерство економіки, торгівлі і промисловості ініціювало розробку Стратегії розвитку нанотехнологій і проведення ряду досліджень, що орієнтовані на виявлення слабких і сильних позицій японської промисловості, а також бар'єрів, що виникають при комерціалізації нанотехнологій [12, с. 100].

В рамках Японської ініціативи бізнесу в області нанотехнологій (Nanotechnology Business Creation Initiative, NBCI) у 2003 р. була розроблена **дорожня карта нанотехнологій для бізнесу**, яка включає вісім стратегічних областей: електроніка, каталізатори / матеріали, метрологія / інструмент, біомедицина, промисловість, авіакосмічна галузь, енергетика (fuel cells), навколишнє середовище. Розробка дорожньої карти, що координувалась NBCI, здійснювалась бізнес-асоціаціями у взаємодії з урядовими і академічними колами. У ній були окреслені технологічні тенденції, продукція, технології і механізми регулювання.

Сьогодні уряд Японії, стурбований швидким зростанням конкуренції з боку ряду країн Азійсько-Тихоокеанського регіону, що швидко розвиваються, з метою збереження провідних позицій країни в науці і техніці сформулював першорядні завдання, пріоритетні розробки, перспективні проекти і особливості сучасної японської нанотехнологічної програми, наведені у *табл. 4.26* [12, с. 100 – 101; 35].

Характерною рисою нанотехнологічних досліджень є необхідність організації тісної взаємодії й співробітництва між великою кількістю різних організацій і установ. Це вимагає формування нової, «кластерної», системи досліджень і керівництва проектами, при якій можливо забезпечувати швидкий і ефективний обмін інформацією між організаціями або вченими різних спеціальностей.

Для практичної реалізації першої категорії проектів (флагманських або короткострокових) у Японії створено велику «об'єднуючу» організацію – *Центр удосконалювання* (COE, Center of Excellence), що забезпечує взаємодію й взаємозв'язок. Для досліджень другої категорії теж створено мережу функціональних організаційних зв'язків, що не тільки забезпечує аналіз цілей і результатів проектів, але й сприяє організації венчурних або інноваційних фірм, а також доведенню проектів до стадії промислового виробництва.

Крім того, найважливішою проблемою для розвитку нанотехнологій є підготовка наукових кадрів в університетах і інших навчальних закладах. Існуюча

Таблиця 4.26

Основні характеристики сучасної програми поточних нанотехнологічних досліджень Японії

Першорядні завдання		Пріоритетні розробки		Перспективні проекти		Особливості програми			
№ з/п	Перелік першорядних завдань	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік проектів	№ з/п	Перелік особливостей		
1	Досягнення проривних результатів у чотирьох важливих для Японії наукових напрямках: медицина і охорона здоров'я; інформаційні технології; екологія	1	Напівпровідникові технології XXI століття	1	Нанотехнологічні матеріали	1	Плановість і централізована підтримка держави		
		2	Терапії запам'ятовуючі пристрої	2	Терапії запам'ятовуючі пристрої	2	Біонаносистеми	2	Зростання корпоративного фінансування нанотехнологічних досліджень і розробок
2	Створення умов для того, щоб у найближчі 50 років число нобелівських лауреатів від Японії склало 30 – 50 осіб	3	Технологія мережевих пристроїв	3	Технологія мережевих пристроїв	3	Нанопристрої	3	Орієнтація на використання наноматеріалів
		4	Фундаментальні дослідження	4	Фундаментальні дослідження	4	Нановимірювальна техніка	4	Головна мета – «Створити суспільство гармонії з природою»
3	Організація і розвиток венчурних підприємств і фірм у важливих наукових напрямках	5	Властивості і функції наноструктур	5	Властивості і функції наноструктур	5	Нанообробка матеріалів		
4	Фінансування і практична організація нової системи медичного обслуговування населення Японії («лікування за індивідуальним замовленням») на основі даних про генетичну інформацію пацієнта	6	Процеси і методи вимірювання і досліджень	6	Процеси і методи вимірювання і досліджень			Усталена тенденція до переходу від досліджень до комерціалізації результатів	
		7	Теоретичні, аналітичні і обчислювальні методи у сфері нанотехнологій	7	Теоретичні, аналітичні і обчислювальні методи у сфері нанотехнологій	6	Модельовання наносистем		

## 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

система підготовки фахівців відрізняється вузькою спрямованістю, у той час як розвиток нанотехнологій вимагає саме підготовки кадрів для міждисциплінарних досліджень. Саме ця обставина стала вирішальним фактором швидкої й енергійної реформи системи освіти в Японії [36].

### 4.4. Розвиток нанотехнологій у країнах Євросоюзу та Ізраїлі

#### 4.4.1. Політика ЄС з розвитку наноіндустрії

У відповідності до європейської стратегії розвитку нанотехнологій головною її метою є трансформація економіки ЄС із економіки ресурсів в економіку знань у відповідності з викликами нової індустріальної революції, зростаючою світовою конкуренцією, необхідністю вирівнювання рівнів соціально-економічного розвитку окремих регіонів співтовариства і проведення більш жорсткої екологічної політики [12, с. 102].

Відповідно до Лісабонської стратегії, прийнятої у 2000 р. і скоригованої у 2005 і 2008 р. відповідно, державна підтримка нанотехнологій у європейських країнах збільшилась з 1,3 млрд євро у 2004 р. до 3,2 млрд євро у 2010 р. При цьому були залучені значні кошти з боку приватних інвесторів [37]. Нанотехнологічна програма ЄС була призвана розробити національну стратегію для розширення досліджень в наноіндустрії.

У травні 2004 р. була прийнята **Стратегія розвитку нанотехнологій в ЄС до 2013 р.**, в якій Єврокомісія визнавала відносне відставання ЄС від США і Японії у цій сфері, планувала збільшити бюджетні асигнування розвитку нанотехнологій і залучити приватних інвесторів. У *табл. 4.27* наведені основні параметри, що характеризують стратегію розвитку нанотехнологій в ЄС [12, с. 102 – 104].

У Європі більш ніж у 40 лабораторіях проводяться нанотехнологічні дослідження й розробки, фінансовані як по державних, так і по міжнародних програмах (зокрема, по програмі НАТО з нанотехнологій). Уряди й приватний сектор кожної країни ЄС усе більше приймають нанонауку як джерело нових технологій і процвітання. Як наслідок, сфера нанотехнологій одержує величезні фонди від приватних підприємств і урядів.

З *табл. 4.27* видно, що головною особливістю регулювання наноіндустрії в ЄС є співіснування наднаціональних норм і національного законодавства країн – членів ЄС, при цьому наднаціональні норми мають пріоритет перед законодавчими актами держав-членів [39].

Таблиця 4.27

Основні параметри Стратегії розвитку нанотехнологій в ЄС

Цілі і завдання		Головні постулати зростання		Ключові суб'єкти наоїдустрії		Державні програми		
№ з/п	Перелік цілей і завдання	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік програм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Збільшити інвестиції координацію у сфері нанотехнологічних досліджень, щоб увійти до числа країн-лідерів на ринку нанопродуктів, що формуються і швидко зростає	1	Нанотехнології, нарівні з біотехнологіями та ІКТ, входять у число пріоритетних напрямів, на яких ЄС сконцентрувало свою увагу і закріпило у Національній ініціативі ЄС	1	Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>Європейська комісія – ЄК (первинне право) та її Генеральний директорат з досліджень (Research DG);</li> <li>Економічний і соціальний комітет ЄС;</li> <li>Парламент ЄС (Комітет з промисловості, досліджень і енергетики);</li> <li>Рада ЄС</li> </ul>	ЄК формує і здійснює науково-технічну політику ЄС, видає постанови і директиви, управляє фондами і програмами, координує політику ЄС в області нанотехнологій	1	Програма розвитку європейських технологічних платформ (ETPs)
2	Залучити додаткові інвестиції на створення інфраструктури світового класу, необхідної для виробничих і наукових організацій						2	Програма розвитку науки про матеріали і технології (MATERA)
3	Покращити міждисциплінарну підготовку науково-дослідницького персоналу з акцентом на підприємницький склад розуму у галузі нанотехнологій		Нааяність розвиненої інфраструктури, фінансових і людських ресурсів для побудови наноіндустрії світового рівня; високий рівень освіти і досліджень у сфері нанотехнологій	2	Мезорівень: єдиний простір між провідними центрами нанотехнологій країн, що входять до ЄС; <ul style="list-style-type: none"> <li>Міждисциплінарний дослідницький центр у Великій Британії (IRCN);</li> <li>Центри нанотехнологій у Німеччині (CCNG);</li> <li>Мікро- і нанотехнологічний центр інновацій у Франції (MINATEC in France);</li> </ul>	Розвиток когерентної системи науково-дослідної інфраструктури, досягнення синергії, обмін досвідом і знаннями, реалізація заходів з максимізації прибутку для нанопродуктів, що виробляються	3	Програма розвитку наномедицини і екологічної (органічної) хімії (Nanomedicine and Sustainable Chemistry)
4	Забезпечити найкращі умови для трансферу технологій і інновацій в ЄС з метою створення продукції, що генерує найвищий прибуток і цінність для суспільства	2					4	Програма розвитку наноелектроніки (ENIAC)
5	Залучити до дискусії суспільство на ранній стадії з метою вивчення впливу на нанотехнологій людину і живу природу						5	Програма розвитку мікро- і нанотехнологій (MNT ERA-Net)

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.27

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Міжузівський центр мікроелектроніки у Бельгії (IMEC in Belgium);</li> <li>▪ Міністерство мікротехнологій і нанонаук в Швеції (MC2 in Sweden) тощо</li> </ul>			
6	Вивчити можливі ризики застосування нанотехнологій		Високий ступінь прозорості критеріїв державної підтримки учасників наноіндустрії та інформаційна забезпеченість усіма необхідними інформаційними ресурсами, в тому числі Інтернетом		Мікрорівень: складається з 1100 компаній: ТНК, компанії малого і середнього бізнесу, лабораторії і університети (повний перелік компаній приведено на сайті [38])	Реалізують програми розвитку нанотехнологій в частині комерціалізації винаходів, проводять дослідження і маркетинг інновацій	6	Програма: «Нано-наукова Європа» (NanoSci-ERA)
7	Покращити міжнародну кооперацію у сфері нанотехнологій	3		3				

Європейська комісія є основним інститутом, що здійснює регулювання на-ноіндустрії в ЄС на наднаціональному рівні (на рівні первинного права), і головною роллю якої є забезпечення положень науково-технічної політики, закріплених в установчих угодах ЄС, а також управління різними фондами і програмами з розвитку нанотехнологій в ЄС [40].

Головним підрозділом Європейської комісії, відповідальним за реалізацію політики ЄС в області нанотехнологій, є *Генеральний директорат з досліджень* (Research DG) [41]. Крім того, у здійсненні нанотехнологічної політики ЄС беруть участь [42]:

- Генеральний директорат інформаційного суспільства і ЗМІ (Information Society and Media DG) – в частині, що пов'язана з наноелектронікою;
- Генеральний директорат підприємництва і промисловості (Enterprise and Industry DG) – в частині реалізації «хімічного» законодавства ЄС, що торкається і наоіндустрії;
- Генеральний директорат регіональної політики (Regional Policy DG) – у частині створення інфраструктури нанотехнологій;
- Генеральний директорат із зовнішніх зв'язків (External Relations DG) – в частині міжнародного співробітництва в галузі нанотехнологій.

Крім Єврокомісії участь у здійсненні політики в області нанотехнологій бере Економічний і соціальний комітет ЄС (Секція єдиного ринку, виробництва і споживання (Single Market, Production and Consumption section)), (Commettee on Industry, Research and Energy, ITRE)) і Рада ЄС.

Комісія ЄС виконує головну координуючу функцію, узгоджуючи позиції усіх суб'єктів, залучених до політики ЄС в області нанотехнологій – інститутів ЄС, країн-членів ЄС і представників наукового співтовариства і промисловості [12, с.106].

Щорічні витрати на науково-технічну політику ЄС складають 4,0 млрд євро, тобто 3,7% бюджету ЄС або не більше 5% загальних витрат на НДДКР країн-членів [43].

На сьогоднішній день *Рамкові програми науково-технічних досліджень, технологічного розвитку й демонстрації ЄС (РП)* є основним інструментом взаємодії європейських дослідників. Саме ці програми формують струнку систему пріоритетних напрямів розвитку науково-технологічної сфери ЄС із чіткою ієрархією підтем, які визначають цілі й завдання кожного конкурсу РП, у яких можуть брати участь на правах «третьої країни» і українські вчені [44].



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

У статистичних даних Євросоюзу фінансування видатків на нанотехнології приховано в різних статтях 4-й і 5-й Рамкових програм. Так, в рамках 4-ї РП (1994 – 1998 рр.) було реалізовано 80 проектів в області нанотехнологій загальним обсягом фінансування 30 млн євро, а в рамках 5-ї РП (1998 – 2002 рр.) фінансування наноіндустрії вже досягало 45 млн євро щорічно, причому тематика нанотехнологій була представлена у різному ступені у всіх розділах.

У 6-ту Рамкову програму (2002 – 2006 рр.) уже було введено спеціальний пріоритетний тематичний розділ під довгою назвою «Нанотехнології й нанонауки, багатофункціональні матеріали, нові виробничі процеси й пристрої» [45]. В рамках 6-ї РП було реалізовано 550 спільних проектів в області наноіндустрії загальною вартістю 1,4 млрд євро (у 2004 р. – 370 млн; у 2005 р. – 470 млн; у 2006 р. – 500 млн євро), і це не враховуючи фінансування в рамках інших напрямів – інформаційних технологій, розвитку інфраструктури, дослідницької і освітянської діяльності [46].

Крім того, Європейська асоціація нанобізнесу опублікувала офіційні дані по деяких програмах Євросоюзу, з яких видно, що близько 30% видатків мають певне відношення до нанотехнологій, а це дозволяє підвищити оцінку річного фінансування нанодосліджень і вважати його рівним 850 млн євро (на чотири роки) [47].

Діюча сьогодні *Сьома Рамкова програма (РП7)* розрахована на 7 років (2007 – 2013 рр.) і має збільшений удвічі в порівнянні із РП6 бюджет кожного року реалізації. Її стратегічна мета – створення єдиного наукового простору Європи (European Research Area, ERA) в цілях підвищення конкурентоспроможності європейської промисловості шляхом підтримки інноваційної діяльності і технологічного розвитку. Програма об'єднує усі початкові ініціативи ЄС і є основним інструментом фінансування наукових досліджень і технологічних розробок в ЄС на період 2007 – 2013 рр. Вона покликана внести вирішальний вклад у здійснення «нового старту» Лісабонської стратегії [12, с. 107].

У рамках РП7 виконується чотири підпрограми, що відповідають основним напрямам науково-дослідної діяльності в ЄС:

- 1) На програму «Співробітництво» виділено найбільш важливу частину (понад 32 млрд євро) від загального бюджету (близько 53 млрд євро), що передбачає можливість фінансування співробітництва з установами третіх країн (наприклад, з України) у рамках проектів по таких *дев'яти пріоритетних напрямках* [48]: здоров'я; продукти харчування, сільське господарство й біотехнології; інформаційні й комунікаційні технології; **нанонауки, нанотехнології, матеріали й нові виробничі технології**; навколишнє середовище (включаючи зміни клімату); транспорт (включаючи аеронавтику); космос; соціально-економічні науки; безпека.

Тематичний напрямок «Нанонауки, нанотехнології, матеріали й нові виробничі технології» має бюджет 3,5 млрд євро на період 2007 – 2013 рр. Для порівняння: інформаційно-комунікаційні технології – 9,11 млрд євро; охорона здоров'я – 6,05 млрд євро; транспорт – 4,18 млрд євро; енергетика – 2,3 млрд євро; харчова промисловість, сільське господарство і біотехнології – 1,935 млрд євро; екологія – 1,8 млрд євро; космос – 1,43 млрд євро; безпека – 1,35 млрд євро. При цьому у перший рік виконання РП7 на розвиток нашої індустрії було витрачено більше 600 млн євро [12, с. 109 – 110].

Крім розділу «Співробітництво», проекти, пов'язані з розвитком нашої індустрії, у різному ступені присутні і в інших трьох розділах РП7;

- 2) Завдання програми «Ідеї» (7,51 млрд євро) – підсилити якість, динамізм і творчу складову науки в Європі, залучити талановитих вчених з Європи та інших країн, стимулювати інвестування у промислові дослідження, особливо колективів, що здійснюють «проривні дослідження» (на додаток до існуючих національних програм) [49];
- 3) Ціллю програми «Кадри» (4,75 млрд євро) є укріплення кадрового потенціалу європейської науки і технологій. За допомогою «акцій Марії Кюрі» ця програма відкриває доступ вченим на всіх стадіях їх професійного розвитку, а також передбачає розвиток міжнародного співробітництва, включаючи стипендії дослідникам, що приїжджають для проведення наукових робіт в Європу, а також обмін дослідниками [50];
- 4) Завдання програми «Можливості» (4,217 млрд євро) – значно розширити дослідницькі і інноваційні можливості в Європі, а також забезпечити їх оптимальне використання [51]. Виконання цього завдання передбачається шляхом підвищення ефективності та узгодженості наукових політик – країн ЄС, пошуку точок дотику з регіональною політикою ЄС, структурними фондами ЄС, освітньою програмою, а також Програмою ЄС по конкурентоспроможності та інноваціям [52].

Окрім власне наукових розробок в ЄС також виділяються кошти за наступними напрямами, пов'язаними з розвитком нашої індустрії [12, с. 110]:

- підготовка наукових кадрів для нанонаук і нанотехнологій (75 млн євро);
- вплив наноматеріалів на здоров'я людей і навколишнє середовище (20 млн євро);
- суспільне обговорення і пропаганда нанотехнологій в суспільстві (8 млн євро).

З кожного із пріоритетних тематичних напрямів щорічно приймається робоча програма. Так, 29 червня 2009 р. Єврокомісія видала *Робочу про-*

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

**граму на 2010 р.** за тематичним напрямом «Нанотехнологія, нанонаука, матеріали і нові напрямки виробництва», в якій уточнюються пріоритети програми і приводяться опис тематик конкурсу, що проводиться щорічно в рамках програми, а також схем фінансування і розподілу бюджету [53]. У табл. 4.28 наведено основні особливості сучасного періоду розвитку наноіндустрії ЄС з урахуванням Антикризисового пакету ЄС (European recovery package, ухваленого наприкінці 2008 р.), прийнятої Робочої програми на 2010 р., а також пропозицій щодо введення нового фінансового інструменту, заснованого на принципі державно-приватного партнерства (Public-Private Partnerships, PPPs) [12, с. 112 – 113].

Таким чином, *Рамкові програми* та прийняті для їх виконання спеціалізовані цільові *Робочі програми* є головним інструментом регулювання і фінансування розвитку наноіндустрії в ЄС. Окрім цього, існує ряд програмних документів Єврокомісії, Ради ЄС, Парламенту ЄС і Комітету із соціальної і економічної політики ЄС, які регулюють різні аспекти розвитку наноіндустрії в ЄС, а саме:

- Комюніке Єврокомісії «Про Європейську стратегію у сфері нанотехнологій (2004) [54];
- План дій з реалізації прийнятої стратегії (2005) [55];
- Звіт з реалізації плану дій у 2005 – 2007 рр. [56];
- Звіт з реалізації плану дій у 2007 – 2009 рр.;
- Комюніке Єврокомісії «Регулятивні аспекти наноматеріалів» [57];
- Комюніке Єврокомісії «Кодекс поведінки в області нанонауки і нанотехнологічних досліджень» [58].

Загалом, державні інвестиції ЄС в наноіндустрію за період 1997 – 2004 рр. склали 3,686 млрд дол. США, що наведено у табл. 4.29 [12, с. 114].

До 2007 р. ЄС за обсягами інвестицій у розвиток нанотехнологій (3,2 млрд євро) зайняла третє місце, уступивши тільки Японії (4,2 млрд євро) і США (4,0 млрд євро). Країни ЄС інвестували: Німеччина – 1,5 млрд євро, Франція – 700 млн євро, Великобританія – 300 млн євро, Нідерланди – 200 млн євро, Ірландія – 150 млн євро і Швейцарія – 100 млн євро. Слід відмітити, що ЄС намагається активно фінансувати наноіндустрію на рівні зі США та Японією з метою збереження своїх позицій у цій сфері.

У прийнятій Єврокомісією *Робочій програмі на 2010 р.* за тематичним напрямом «Нанотехнологія, нанонаука, матеріали і нові напрямки виробництва» акцентується необхідність узгодження політики ЄС у галузі нанотех-

Таблиця 4.28

Особливості сучасного періоду розвитку наоіндустрії в ЄС (2010 р.)

Інституційне середовище розвитку наоіндустрії в ЄС		Нові пріоритети розвитку відповідно до Антикризисового пакету і Робочої програми на 2010 р.				Державно-приватне партнерство як новий інструмент фінансування наоіндустрії			
№ з/п	Сильні сторони	№ з/п	Слабкі сторони	№ з/п	Ключові напрями	Провідні галузі нанодосліджень	№ з/п	Перелік ініціатив у галузях	Способи організації і фінансування проєктів
1	Політична стабільність		Превалювання національних інтересів держав-членів ЄС над загальноєвропейськими	1	Люди	1. Виробництво	1	Фабрики майбутнього (Factories of the future)	1. «Прямі дії» (direct actions): дослідження повністю фінансуються з бюджету ЄС
2	Відкритість бізнесу	1		2	Підприємництво				
3	Високорозвинена інфраструктура		Високий рівень оподаткування (середній рівень в ЄС – 40%)	2	Інфраструктура і енергетика	2. Обробна промисловість	2	Енергоефективність будівель (Energyefficient buildings)	2. «Непрямі дії» (shaged-cost actions): дослідження на 50% фінансуються з бюджету ЄС, інші 50% фінансують самі науково-дослідні організації держав-учасниць, асоційованих держав і третіх країн.
4	Доступність і надійність телекомунікацій	2		3					
5	Свобода банківської конкуренції		Негнучкість ринку праці в умовах дії обмежень на притік робочої сили з нових країн – членів ЄС	3	Наука і дослідження	3. Автомобільна промисловість	3	«Зелені» автомобілі (Green cars)	3. «Узгоджені дії» (concerted actions): ЄС належить координуюча роль, але ЄС не приймає участі у прямому фінансуванні наукових досліджень [59]
6	Легкість освоєння нових технологій	2		4					
7	Високий освітній рівень робочої сили і управлінського апарату	3	Високий рівень безробіття (більше 8%)						
8	Легкість організації підприємницької діяльності	4							
9	Широка співробітництва між підприємствами і університетами								

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

нологій з положеннями ухваленого наприкінці 2008 р. Антикризисового пакету ЄС. Ключові напрямки цього пакету (люди, підприємництво, інфраструктура і енергетика, наука і дослідження) відповідають головним цілям Лісабонської стратегії 2000 р. (див. табл. 4.28).

Таблиця 4.29

##### Інвестиційна програма розвитку наноіндустрії ЄС, млн дол. США

№ з/п	Рік	Фінансування	№ з/п	Рік	Фінансування
1	1997	126,0	5	2001	270,0
2	1998	140,0	6	2002	400,0
3	1999	165,0	8	2003	1085,0
4	2000	200,0	9	2004	1300,0
<b>Усього: 3 686,0</b>					

В Робочій програмі також відмічається, що нанотехнологічні дослідження ЄС сконцентровані переважно в галузі виробництва, а також в обробній і автомобільній промисловості. У зв'язку з цим запропоновано ввести новий фінансовий інструмент, заснований на принципі (PPPs), для фінансування трьох ініціатив у вказаних галузях: «Фабрики майбутнього» (*Factories of the future*), «Енергоефективність будівель» (*Energyefficient buildings*) і «Зелені» автомобілі (*Green cars*). Загальний бюджет, який передбачено програмою на реалізацію даних ініціатив у 2010 р., склав 100 млн євро. Ціллю нового інструменту у вигляді PPPs є узгодження державних інтересів і інтересів бізнесу для спільного проведення наукових досліджень в рамках трьох ініціатив, а також збереження пріоритету трансформації економіки ЄС із заснованої на ресурсах в економіку, засновану на знаннях (тобто відповідно до Лісабонських критеріїв) [12, с. 112].

Звичайно, офіційні дані відображають лише частину витрат на НДДКР у галузі нанотехнологій, але вони можуть бути основою для більш повної оцінки, яка враховує участь на паях у фінансуванні і додаткові вкладення. Наприклад, для країн Євросоюзу розмір додатково вкладених коштів становить близько 700 млн євро на рік [47]. Крім того, статистика не враховує, що багато підприємств і фірм (особливо великі міжнаціональні корпорації) часто проводять значні за масштабом НДДКР у цій сфері зовсім самостійно, а потім вкладають капітали у венчурні (start-up) компанії з виробництва нанотехнологічних виробів або матеріалів.

Треба також враховувати, що на відміну від США, які виробили велику й докладну програму нанотехнологічних досліджень, *європейські країни* обрали стратегію незалежного розвитку (табл. 4.30) [2, с. 109 – 110].

Таблиця 4.30

**Розвиток нанотехнологічних досліджень у країнах Європи**

Країна	Стан нанотехнологічних досліджень
1	2
Німеччина	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження з нанотехнологій підтримуються Міністерством освіти, науки, досліджень і технологій (МОНДТ);</li> <li>▪ дослідницькі центри з нанотехнологій створені в Інституті Фраунгофера, Інституті Макса Планка й у багатьох університетах;</li> <li>▪ у 1998 р. МОНДТ створило 6, а у 2003 р. ще 3 нових великих дослідницьких центра, пов'язаних з нанотехнологіями;</li> <li>▪ починаючи з 1997 р., МОНДТ виділяло кожному центру на розвиток нанотехнологій по 2 млн євро на рік</li> </ul>
Англія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження з нанотехнологій підтримує Рада з фізико-технічних досліджень (EPSRC);</li> <li>▪ у 1998 р. затверджено «мережеву» програму з обсягом фінансування близько 2 млн дол. на рік;</li> <li>▪ Національна фізична лабораторія розробила Національну Ініціативу з Нанотехнологій (National Initiative On Nanotechnology, NION), яка намітила основну структуру досліджень на найближчі роки. Розвивається співробітництво між урядовими, промисловими й дослідницькими організаціями, пов'язаними з цими дослідженнями;</li> <li>▪ у період 1994 – 1999 рр. EPSRC виділяла на нанотехнологічні дослідження по 7 млн дол. на рік (включаючи 1 млн дол. на спеціальну програму одержання нанопорошків)</li> </ul>
Франція	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження з нанотехнологій визначає Національний Центр наукових досліджень (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS);</li> <li>▪ Національний Центр затвердив програму з вивчення нанопорошків і нанокмпозиційних матеріалів, відповідно до якої фінансуються близько 40 фізичних і 20 хімічних лабораторій;</li> <li>▪ для встановлення й підтримки зв'язків між науковими й промисловими колами створено «Французький Клуб Нанотехнологій» (French Club Nanotechnologie);</li> <li>▪ CNRS виділяє 40 млн дол. на рік на дослідження з нанотехнологій в 60 лабораторіях (загальна чисельність персоналу – 500 осіб)</li> </ul>
Швеція	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Асигнування на дослідження в галузі нанотехнологій становлять близько 10 млн. дол. щорічно. Крім цього, корпорація Angstrom Consortium почала виділяти близько 800 тис. дол. на рік на спеціальну програму створення нанопокриттів;</li> <li>▪ створено 4 великих дослідницьких центри:             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Angstrom Consortium (з 1998 року виділяється по 800 тис. дол. на рік на розробку й дослідження нанопокриттів);</li> <li>2. Nanometer Structures Consortium (на дослідження витрачається 3,5 млн дол. на рік, 1 мільйон з яких виділяє Програма інформаційних технологій Європейського Союзу, ESPRIT);</li> <li>3. Cluster-based and Ultrafine Particle Materials (виділяється по 400 тис. дол. на рік, починаючи з 1998 р.);</li> <li>4. Brinnel Center;</li> </ol> </li> <li>▪ відомо також, що, принаймні, п'ять великих промислових організацій ведуть дослідження у різних напрямках нанотехнологій</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.30

1	2
Швейцарія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Затверджена (з 2000 р.) державна програма досліджень з нанотехнологій і впровадження їх результатів у промислове виробництво під назвою «TOP NANO 21 Projects»;</li> <li>▪ створено мережу обміну інформацією й співробітництва між урядовими, промисловими й дослідницькими організаціями, пов'язаними з цими дослідженнями. Крім того, існує й мережа міждисциплінарного обміну науковою інформацією;</li> <li>▪ працює ряд великих дослідницьких центрів:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. IBM Research Laboratory (Zurich). Основні напрямки досліджень: нанозонди, молекулярні маніпуляції, вивчення поверхонь;</li> <li>2. Paul Scherrer Institute (нанопристрої, нанодатчики);</li> <li>3. ETH Zurich (наноелектроніка);</li> <li>4. L'Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (процеси самоскладання)</li> </ol> </li> </ul>
Джерело: Бюлетень World Technology Evaluation Center (WTEC) за 1999 р.	

Щорічно кількість наукових публікацій з нанотехнологічної проблематики в ЄС становить сьогодні не менш 12 000, що не набагато поступається США (близько 15 000 статей). А найбільш цитованими виданнями, що публікують наукові статті в галузі нанотехнологій, є мультидисциплінарні Science у США й Nature у Європі.

Необхідно відмітити, що у сфері нанотехнологій сьогодні працює близько 1100 європейських компаній, з яких біля 250 – виробляють продукцію не в Європі, а на заводах Китаю, Тайваню, Республіки Корея [60]. Один з найбільших фондів, що фінансують розвиток нанотехнологій, – Європейський інвестиційний банк (European Investment Bank).

Для координації процесу становлення й розвитку нанотехнологій у 2002р. в ЄС було створено некомерційну організацію «Європейська асоціація нанобізнесу» (ENA), основна мета якої – сприяння розвитку сильної й конкурентоспроможної європейської промисловості, що базується на використанні нанотехнологій. Головна місія ENA укладається в забезпеченні професійного розвитку нанобізнесу в ЄС.

У 2004 р. великі європейські компанії, зокрема Philips, Nokia, Ericsson, AMD і IBM, прийняли рішення щодо щорічного інвестування не менше 6 млрд доларів на перехід від мікро- до нанотехнологій, щоб Європа залишалася технологічним лідером. У 2004 році було створено *Європейську дорадчу раду в галузі наноелектроніки* (European Nano-Electronics Initiative Advisory Council), яка сформулювала основні науково-дослідні цілі [3, с. 272 – 273]:

- підтримка європейських досліджень та інвестиції в наноелектроніку;
- прискорення інновацій і використання науково-дослідних технологій;



- підвищення ефективності й конкурентоспроможності європейської наелектроніки;
- усунення перешкод для координації й прискорення виходу на ринок нових технологій;
- збалансований розвиток інновацій і планування з узгодженням нових технологій і регуляторної політики Євросоюзу;
- підвищення привабливості Євросоюзу для науки й промисловості;
- підвищення рівня сприйняття й визнання нанотехнологій у суспільстві.

У рамках європейської програми *Network of Excellence* у консорціумі *Nano2Life* об'єднали свої зусилля близько 200 учених, 23 організації й 12 країн із промисловими партнерами з метою визначення широкого кола регіональних центрів, дисциплін, кваліфікації й досвіду для вирішення нанотехнологічних завдань. Консорціум *Nano2Life* функціонує з 2004 р. й на його основі створено *Європейський інститут біонанотехнологій*. Одна з його основних цілей – підтримка спільних науково-дослідних проектів для виконання чотирьох основних завдань: функціонування, виявлення, інтеграції нанопристроїв і керування ними. Починаючи із квітня 2004 р. було створено близько 30 науково-дослідних проектів, фінансованих Євросоюзом.

У консорціумі *Nano2Life* беруть участь організації з Данії, Німеччини, Греції, Франції, Швеції, Ізраїлю, Австрії й багатьох інших країн. У його діяльності беруть активну участь як багато відомих промислових компаній, так і стартапи, що виникли недавно.

У травні 2006 р. на першій установчій нараді, організованій Інститутом нанотехнологій (*Institute of Nanotechnology*), уперше було розглянуто багато питань, що стосуються виробництва й використання наночастинок у економіці держав Європи. Потреба підприємств у нових нанотехнологіях стрімко зростає, але як для виробників, так і для споживачів розробок залишається безліч невирішених питань.

#### 4.4.2. Програми розвитку наноіндустрії Німеччини та Ізраїлю

Уряд Німеччини раніш за США зрозуміли важливість розвитку нанодосліджень і нанорозробок для збереження і підвищення конкурентоспроможності найбільш розвинених галузей німецької економіки: автомобілебудування, хімічної і оптичної промисловості, приладобудування та інформаційно-комунікаційних технологій. Ще з кінця 80-х років у рамках державних інноваційних програм «Нові матеріали» і «Фізичні технології» виділялися кошти на дослідження зі створення нанопорошків, виготовлення латеральних структур



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

на основі кремнієвих матеріалів і розробку методик для проведення нанодосліджень. Але вже у 1998 р. дослідження в області нанотехнологій набули статус федеральної програми із самостійною інфраструктурою й власним бюджетним фінансуванням.

У ФРН була вирішена проблема створення ефективної інфраструктури розвитку нанотехнологій. Так, Федеральне міністерство освіти, науки, досліджень і технологій (МОНДТ), як основний куратор уряду за більшістю інноваційних програм у Німеччині, створило з 1998 р. шість технологічних центрів у якості загальнофедеральних мережевих структур із регіональними кластерами, а з 2003 р. до них додалися ще три центри (на кінець 2002 р. чисельність персоналу в кожному центрі становила від 53 до 113 осіб) [61]. У табл. 4.31 наведено основні напрями та цілі нанодосліджень у вказаних технологічних центрах Німеччини [7, с. 136 – 137; 15, с. 83].

Таблиця 4.31

##### Пріоритетні напрями і цілі технологічних центрів Німеччини

№ з/п	Місце розташування центру	Пріоритетні напрями	№ з/п	Цілі створення технологічних центрів
1	м. Саарбрюккен	Наноматеріали	1	Об'єднати в одну команду всіх потенційних учасників створення нових інноваційних продуктів – учених, інженерів, виробників, фінансистів, постачальників тощо
2	м. Дрезден	Надтонкі функціональні шари		
3	м. Мюнстер	Нанобіоаналітика	2	Завчасно виявляти перешкоди і проблеми у процесі створення інновацій, аналізувати можливі соціально-економічні й екологічні наслідки їхнього застосування
4	м. Брауншвейг	Надточна обробка зовнішніх поверхонь		
5	м. Берлін	Наноструктури для оптичної електроніки	3	Запобігати дублюванню й розпиленню ресурсів в процесі проведення досліджень
6	м. Гамбург	Нанотехнології	4	Залучати з метою інвестування приватні й бюджетні фінансові ресурси
7	м. Мюнхен	Наноаналітика	5	Активізувати розробку і впровадження нових норм і стандартів
8	м. Кайзерслаутерн	Нанобіотехнології	6	Підтримувати створення комерційних структур
9	м. Карслуе	Наноматематичне моделювання	7	Проводити інформаційну роз'яснювальну роботу із громадськістю

Сьогодні у створених загальнофедеральних мережевих структурах працює близько 600 організацій, з яких: 174 – вищі навчальні заклади (університети й інститути); 138 – наукові установи і організації; 72 – транснаціональні кор-

порації і холдинги; 186 – малі й середні підприємства та 20 – фінансові інститути, консалтингові фірми та ряд об'єднань за інтересами.

Обсяги фінансування МОНДТ нанотехнологічних досліджень в період 1998 – 2003 рр. представлені у табл. 4.32 [61].

Таблиця 4.32

**Обсяги фінансування МОНДТ нанотехнологічних досліджень  
у період 1998 – 2003 рр., млн євро**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Спільні проекти	27,0	31,1	32,7	52,0	86,7	110,6
Розвиток центрів, створюваних міністерством	0,6	1,6	2,1	2,1	1,8	1,5
Усього	27,6	32,7	34,8	54,1	88,5	112,1

З 1998 р. Німеччина постійно збільшує фінансування нанодосліджень і нанорозробок, при цьому близько 40% складають державні інвестиції у цю сферу. Як видно з табл. 4.33, пріоритетними напрямками розвитку нанотехнологій у ФРН у період 2002 – 2005 рр. залишалася наоелектроніка (обсяги бюджетного фінансування якої зросли більше ніж у двічі), наноматеріали (аналогічні темпи зростання), зменшилося інвестування у розвиток нанобіології і комунікацій [7, с. 138; 62].

Таблиця 4.33

**Напрями бюджетного фінансування наносфери у ФРН  
у період 2002 – 2005 рр., млн євро**

№ з/п	Напрямок розвитку	Фінансування за роками			
		2002	2003	2004	2005
1	Наоелектроніка	19,9	25,0	44,7	46,2
2	Наноматеріали	19,2	20,3	32,7	38,1
3	Оптика	18,5	25,2	26,0	26,0
4	Мікросистеми	7,0	7,0	9,4	10,2
5	Нанобіологія	4,6	5,4	5,0	3,1
6	Комунікації	4,3	4,0	3,6	3,4
7	Інші	0,4	1,3	2,4	2,2
Усього:		73,9	88,2	123,8	129,2

Крім того, найважливішим джерелом фінансування нанотехнологічних досліджень є бюджетні асигнування на потреби оборонних відомств провідних європейських країн. У Німеччині дослідження з військовими нанотехнологіями

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

почалися тільки з 2004 р. До цього – з 2000 до 2004 рр. Міністерство оборони доручило Інституту Фраунгофера вивчити можливість практичного використання нанотехнологій у військових цілях (бюджет проекту – 0,5 млн євро) і не фінансувало жодної розробки, яку можна було б віднести до нанотехнологій. Сьогодні політика Німеччини в розвитку військових технологій взагалі націлена майже винятково на використання результатів, отриманих у ході цивільних НДДКР. Уряд фінансує науково-технічні роботи військового характеру лише у виключних випадках їхньої очевидної необхідності й неможливості знайти аналоги в цивільному секторі [1, с. 129 – 130].

У червні 2006 р. уряд ФРН в рамках «Стратегії високих технологій» затвердив єдину міжгалузеву програму «**Наноініціатива 2010**». У її виконанні беруть участь сім федеральних міністерств: з питань освіти і досліджень, праці й соціальної політики, охорони здоров'я, оборони, економіки і технологій, захисту навколишнього середовища, сільського господарства. При цьому у 2006 р. на нанодослідження і нанорозробки було виділено 340 млн євро бюджетного фінансування.

Основні параметри програми ФРН «Наноініціатива 2010» наведені в *табл. 4.34* [7, с.138 – 141; 15, с.83 – 84; 36].

Федеральне міністерство освіти і досліджень Німеччини для реалізації міжгалузевої програми «Наноініціатива 2010» використовує механізм «Головних інновацій» («*Leitinnovationen*»), тобто цільових проектів (як правило, середньострокових, на п'ять років) за тими напрямками розвитку нанотехнологій, які вже сьогодні зробили Німеччину світовим технологічним лідером і можуть дати швидку практичну віддачу при застосуванні їх у ключових сферах економіки. До критеріїв, яким повинна відповідати «головна інновація», що визначається у процесі тривалих дискусій між представниками влади, бізнесу і науки, відносять:

- об'єднання учасників всього інноваційного циклу від фундаментальних нанодосліджень до збуту нанотехнологічних товарів і послуг;
- впровадження отриманих результатів у серійне виробництво на комерційній основі;
- закріплення результатів у патентах на винаходи, нових технологічних нормах і стандартах;
- можливість використання результатів у суміжних галузях;
- узагальнення нових науково-практичних знань і досвіду в навчальних програмах для підготовки фахівців відповідного профілю і кваліфікації.

Таблиця 4.34

Основні параметри програми ФРН «Наноініціатива 2010»

Цілі програми		Сильні і слабкі сторони наносфери				«Головні ініновації» у наноіндустрії		
№ з/п	Перелік цілей	№ з/п	Сильні сторони	№ з/п	Слабкі сторони	№ з/п	Перелік напрямів	Основні напрями реалізації
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Прискорення процесу матеріалізації результатів нанодосліджень у готових інноваційних продуктах	1	Високий рівень фундаментальних досліджень у сфері нанотехнологій, про що свідчить: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ третє місце ФРН у світі (після США і Японії) за кількістю патентів;</li> <li>▪ четверте місце (після США, Японії і Китаю) за кількістю наукових публікацій</li> </ul>	1	Помітне відставання від США і країн Південно-Східної Азії за кількістю патентів на винаходи, що реєструються, та кількістю фірм, що беруть участь у нанобізнесі	1	Електроніка	За програмою «НаноФаб»: розробка технологій і устаткування для виробництва мікросхем нового покоління з використанням літографії на основі твердого ультрафіолетового випромінювання (бюджетне фінансування – 323,0 млн євро)
2	Усунення перешкод і бар'єрів, що заважають впровадженню нанотехнологічних інновацій, шляхом оптимізації процедури поганджень між різними адміністративними і політичними інстанціями	2	Значний науково-дослідницький потенціал: сьгодні у ФРН у сфері нанотехнологій працюють: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ установи академічної науки: Товариства ім.Фраунгофера, ім.Макса Планка, ім. Лейбніца, ім.Гельмгольца тощо;</li> <li>▪ науково-дослідницькі групи в більшості університетів;</li> <li>▪ науково-дослідницькі підрозділи у складі великих компаній, зокрема Сіменс, BASF, Хенкель, Осрам тощо;</li> <li>▪ незалежні приватні центри і лабораторії</li> </ul>	2	Труднощі у процесі створення нових підприємств, які пов'язані з недопоміжними ризикового капіталу і перешкодами адміністративного бюрократичного характеру	2	Оптична промисловість	За програмою «НаноЛюкс»: різке підвищення якості енергозберігаючих білих світловодів і створення технологічних основ для їхнього виробництва у ФРН на органічній основі (бюджетне фінансування – 156,0 млн євро)
						3	Автомобілебудування	За програмою «Наномобіль»: створення надлегких наноматеріалів, нанодатчиків і лавік, стійких до зовнішніх механічних впливів (бюджетне фінансування – 37,0 млн євро)

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.34

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Розширення кола промислових галузей і підприємств, що застосовують нанотехнології	3	Промислова база, що розвивається: у виробництві нанопродуктів у ФРН зайнято близько 600 компаній, в тому числі 500 малих і середніх, із загальною кількістю зайнятих 50 тис. осіб		Значні недоліки щодо інформування бізнес-структур і потенційних інвесторів з питань розвитку і перспектив застосування нанотехнологій	4	Медицина і біотехнології	За програмою «НаноФортлайф»: розробка на базі нанотехнологій нових високоточних і дешевих методик діагностики і лікування важких захворювань (бюджетне фінансування – 24,0 млн євро)
4	Розгортання інтенсивного інтерактивного діалогу із громадськістю про наслідки промислового застосування нанотехнологій	4	Підвищений інтерес молоді до нанотехнологічної проблематики, що проявляється у зростаючій кількості бажаних вступити до професійно-технічних училищ і вищих навчальних закладів (університетів і інститутів) за відповідними спеціальностями [15]	3		5	5	Енергетика
						6	Хімія	За програмою «НаноМікрохім»: створення нових матеріалів і покриттів для різних галузей економіки (бюджетне фінансування – 31,0 млн євро)

За кожною «головною інновацією» складається окрема «дорожня карта», в якій поетапно розписуються робочі завдання, терміни їхнього виконання, виконавці, а також умови фінансування.

Щорічне бюджетне фінансування на проекти в рамках «головних інновацій» тільки з боку Федерального міністерства освіти і досліджень Німеччини складає понад 100 млн євро [15]. При цьому вказана сума може бути збільшена удвічі за рахунок софінансування нанодосліджень німецькою промисловістю. Експерти оцінюють «головні інновації» як успішний організаційно-фінансовий інструмент реалізації стратегічних інноваційних проектів.

Крім того, до найбільш функціональних механізмів взаємодії зацікавлених сторін (особливо для тих випадків, коли нові технології можуть використовуватися в інтересах декількох галузей одночасно, тобто для міждисциплінарних досліджень і розробок) слід віднести формування і усталену роботу як загальнофедеральних мереж, так і великої кількості мереж регіонального і локального характеру.

З боку уряду ФРН передбачено широкий набір інструментів для розбудови національної системи розвитку нанотехнологій в країні, які наведені в табл. 4.35 [7, с.141 – 145; 15, с. 84 – 87; 36].

Таблиця 4.35

**Основні інструменти розбудови національної системи розвитку нанотехнологій у Німеччині**

№ з/п	Інструмент	Характеристика основних заходів
1	2	3
1	«Головні інновації»	<i>Цільові середньострокові проекти</i> за тими напрямками розвитку нанотехнологій, які вже сьогодні зробили ФРН світовим технологічним лідером і можуть дати швидку практичну віддачу при застосуванні їх у ключових сферах економіки
2	Галузеві діалоги	<i>Засіб інформування і просвіти</i> , який ставить за мету проаналізувати потенційні потреби окремих галузей в нанотехнологіях, відповісти на запитання – які повинні бути створені конкретні науково-технологічні розробки для їх задоволення <sup>^</sup> 1. Проводяться у формі робочих груп, семінарів, круглих столів і конференцій під егідою Федерального міністерства освіти і досліджень у сімох галузях: автомобілебудування, хімічній, оптичній, інформаційній, текстильній, будівельній галузях та у сфері охорони здоров'я. 2. Дозволяють органам державного управління більш кваліфіковано робити відбір найбільш перспективних нанопроєктів для фінансування за рахунок бюджетних коштів
3	Мережеві структури	<i>Загальнофедеральні, регіональні і локальні мережі</i> як найбільш функціональні механізми взаємодії зацікавлених сторін, особливо для тих випадків, коли нові технології можуть використовуватися в інтересах декількох галузей одночасно, тобто для міждисциплінарних досліджень і розробок. Підтримка мереж за такими напрямками:

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.35

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розширення віртуального спілкування шляхом створення нових наносайтів і спеціалізованих наноportalів в Інтернеті;</li> <li>▪ визначення пріоритетних напрямів нанодосліджень і нанорозробок на основі технологічних «дорожніх карт»;</li> <li>▪ розробка спеціальних рекомендацій щодо напрямів нанодосліджень і оптимізації рамкових умов для їхнього проведення;</li> <li>▪ координація програм бюджетної підтримки різного рівня – федерального, регіонального (земельного), а також з боку ЄС (7-ма Рамкова програма)</li> </ul>
4	Форум «Майбутнє нанотехнологій»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Загальнонаціональні конгреси «Нанотехнології в Німеччині»</i>, що проходять раз у два роки у формі проміжних підсумків науково-дослідної роботи у наносфері.</li> <li>2. <i>Постійно діючий форум «Майбутнє нанотехнологій»</i>, започаткований федеральним урядом, для проведення міждисциплінарного діалогу між представниками природничих і гуманітарних наук, політиками, підприємцями і журналістами. За результатами роботи форуму готуються експертні оцінки плюсів і можливих мінусів промислового застосування нанотехнологій, рекомендації щодо змісту і перспектив розвитку державної політики у вказаній сфері</li> </ol>
5	Уніфікація механізмів управління програм держпідтримки	Уніфікація й спрощення процедур отримання державної підтримки з метою уникнення дублювання окремої наукової тематики і напрямів нанодосліджень, що реалізуються в проектах різних міністерств і відомств Німеччини. Розроблено <i>єдину для всіх відомств «абетку» програм</i> , що робить їх більш зрозумілими й прозорими
6	Підготовка наукових кадрів	<i>Конкурс «Наномайбутнє»</i> , в рамках якого переможці одержують грант на виконання самостійного науково-дослідного проекту у складі створюваних ними творчих колективів із фахівців різних спеціальностей. Проекти розраховано на термін до 5 років, бюджетне фінансування становить 20 млн євро
7	Охорона здоров'я і навколишнього середовища	<i>Проведення довгострокових чисельних комплексних досліджень і експертиз товарів повсякденного попиту</i> – продовольчих, лікарських, косметологічних. Засновано проектний кластер «Наноздоров'я» під егідою Федерального міністерства освіти і досліджень та з обсягом фінансування – 8 млн євро, створено постійно діючі робочі групи «Безпека і завдання досліджень» та «Державна підтримка інновацій і шанси для охорони навколишнього середовища» під егідою Міністерства охорони навколишнього середовища
8	Інформування громадськості	<p><i>Проведення інформаційно-пропагандистських заходів</i>, а саме:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ «Нановиставка на колесах» - спеціально обладнаний автобус як мобільний виставковий і комунікаційний центр пропонує відвідувачам «подорож у нанокосмос – світ дрібних розмірів», інформуючи в наочній формі про основи, сфери застосування і перспективи розвитку нанотехнологій (в основному для учнівської молоді – щорічно її відвідують до 100 тис. осіб);</li> <li>▪ Науково-популярна брошура «Нанотехнології – інновації для завтрашнього світу» видається масовим накладом і всіма мовами ЄС, а також арабською і китайською;</li> <li>▪ створення єдиного федерального Інтернет-порталу «Наноportal федерального уряду» для надання максимально повної інформації про стан розвитку наносфери у Німеччині та за її межами</li> </ul>

Таким чином, до числа **основних елементів Національної системи розвитку нанотехнологій Німеччини**, яка забезпечила їй третє місце у світовій нанотехнологічній гонці, слід віднести [7, с. 145]:

- 1) Чітко виражений міждисциплінарний підхід;
- 2) Синхронну підтримку як фундаментальних, так і прикладних досліджень;
- 3) Створення мережевих інфраструктур підтримки розвитку нанотехнологій;
- 4) Широке міжнародне співробітництво;
- 5) Активну політику у сфері професійної підготовки й перепідготовки кадрів;
- 6) Відвертий діалог із суспільством щодо найбільш гострих проблем практичного використання нанотехнологій;
- 7) Підтримка з боку держави всіх заходів і кроків, спрямованих на прискорення комерціалізації нанорозробок;
- 8) Приділення великої уваги питанням інтелектуальної власності і координації патентно-ліцензійної роботи.

Наноіндустрія **Ізраїлю** сьогодні знаходиться у тісному взаємозв'язку з нанотехнологічною сферою Європейського Союзу, а також демонструє надзвичайно високе зростання, яке за період 2007 – 2010 рр. досягло 150%. Кількість дослідницьких груп зросло з 210 до 325, а кількість компаній, що працюють у даному секторі ринку, збільшилось з 45 до 75.

В Ізраїлі прийнята і діє програма **Ізраїльська нанотехнологічна ініціатива** (Israel National Nanotech Initiative, INNI), яка спільно виконується урядом, академією наук і промисловістю. Ця програма збрала та інвестує значні ресурси у розвиток нанотехнологічної галузі [63].

У табл. 4.36 наведено основні параметри Ізраїльської нанотехнологічної ініціативи (INNI) [7, с. 120 – 122; 64].

Уряд Ізраїлю у 2006 р. оголосив фінансування провідних університетів, які займаються дослідженнями у сфері нанотехнологій, на рівні 80 – 100 млн дол. США, а до 2011 р. – до 230 млн дол. США [63].



Таблиця 4.36

## Основні параметри програми Ізраїльської нанотехнологічної ініціативи (INNI)

Завдання		Головні постулати зростання		Ключові суб'єкти наноіндустрії			Державні програми		
№ з/п	№ з/п	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік програм	Основні напрями
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Створення національної політики розподілу ресурсів з метою оптимізації і прискорення процесу комерціалізації продукції наноіндустрії	1	Високий рівень освіти населення країни (біля 20% населення мають вчений ступінь. На 10 000 робітників – 140 вчених і 135 інженерів)	1	Макрорівень: <ul style="list-style-type: none"> <li>Президент;</li> <li>Міністерство торгівлі, виробництва і праці;</li> <li>Ізраїльський національний нанотехнологічний інститут</li> </ul>	Формування державної стратегії і галузевих програм в області науки і технологій, в тому числі нанотехнологій	1	The Triangle Donation Matching program (програма дотацій провідним нано-центрам)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Координація процесів між державою й університетами.</li> <li>Фінансування пріоритетних досліджень і розробок</li> </ul>
2	Формування довгострокових нанотехнологічних програм наукових досліджень і технологічного розвитку в університетах та виробничих організаціях	2	Високий рівень активності вчених в області наукових публікацій і патентів на винаходи в області нанотехнологій (2-е і 3-є місце у світі [64])	2	Мезорівень: складається з шести кластерів: <ul style="list-style-type: none"> <li>Ізраїльський технічний інститут у Хайфі (103 вчених);</li> <li>Університет Тель-Авіву (34);</li> <li>Університет Бар-Ілан у Рамат-Гані (25);</li> <li>Інститут Вейсман в Реховоті (33);</li> <li>Університет Хебрю і Герусалімі (31);</li> <li>Університет Бен-Гуріон в Беер-Шева (27)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реалізація державної стратегії;</li> <li>проведення досліджень переважно в області нанобіотехнологій</li> </ul>	2	US-Israel Workshops on Nanotech for Water Purification (американо-ізраїльська програма)	Розробка нових методів очищення води
3	Створення інфраструктури наноіндустрії світового класу на території Ізраїлю								

Закінчення табл. 4.36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Світове лідерство у реалізації пріоритетних для країни нанотехнологічних проєктів					Спеціалізація вчених: <ul style="list-style-type: none"> <li>біотехнологія і об'єднання;</li> <li>електроніка і фотоніка;</li> <li>фільтри і мембрани;</li> <li>неорганічні матеріали;</li> <li>нанокристалічні структури</li> </ul>	3	Nano Functional Materials (NFM) (програма з розробки функціональних наноматеріалів)	Формування інфраструктури для проведення досліджень з вдосконалення наявних і створення нових типів матеріалів
5	Активний пошук фінансових ресурсів, як публічних, так і приватних			3	Мікрорівень: 300 вчених і 123 організації малого і середнього бізнесу [64] (повний перелік компаній наведено на сайті [65])		4	Nataf (програма підтримки ізраїльських спеціалістів)	Виділення урядом щорічно 25 тис. дол. на кожного вченого в області хімії, фізики, біології, що працюють у сфері очищення води
6	Всебічна підтримка і розвиток інновацій в нанодустрії						5	Waterfronts –Israel Water Bussiness Alliance (програма об'єднання лідерів промисловості і навчальних закладів)	Розвиток водних технологій і водного бізнесу як національного пріоритету. Ізраїль прагне стати світовим лідером у сфері очищення води

##### 4.5. Досвід розвитку нанотехнологій у КНР, Республіці Корея та Індії

У 2000 р. урядом **Китайської Народної Республіки** було затверджено *Програму розвитку нанотехнологій*, яка суттєво вплинула на подальшу модернізацію індустрії високих технологій цієї країни [66]. Сьогодні найбільшими кластерами, де сконцентровано приблизно 90% всього виробництва і досліджень нанотехнологій в Китаї, є Пекін, Шен'ян, Шанхай, Хуанчжоу, Сянь і Гонконг [67].

Відповідно до програми (стратегії) розвитку наноіндустрії Китаю ринок нанопродуктів у 2005 р. склав 5,4 млрд дол. США, а до 2015 р. планується його збільшення до 144,9 млрд дол. США (а це величезні обсяги). Цільовими сегментами ринку є: наноматеріали, наноелектроніка і нанобіотехнології, які сьогодні складають близько 70% від обороту усіх вироблених в Китаї нанопродуктів [68].

Сучасна **Програма розвитку нанотехнологій у Китаї** характеризується певними параметрами, які наведено у *табл. 4.37* [12, с. 114 – 118].

Рівень впливу держави на розвиток наноіндустрії Китаю дуже високий. На це вказує велика кількість наукових організацій, залучених до нанодосліджень. Програми «Нанотех» виконуються у більшості науково-дослідних інститутів Китайської академії наук, у науково-дослідних лабораторіях університетів, а також у лабораторіях багатьох провідних промислових підприємств. Найбільші програми досліджень присвячені, в основному, вирішенню проблем матеріалознавства, в результаті яких розроблені і вивчені властивості наноструктур, квантової криптографії і квантової оптики.

Відповідно до внутрішньої китайської статистики, ринок нанотехнологій у 2006 р. перевищив 400 млн дол. США з річним приростом у 18%. На протязі наступних п'яти років, у 2007 – 2011 рр. приріст зберігався на рівні більше 15%. При цьому у 2008 р. Китай обігнав за обсягами державного фінансування США і Японію (за даними аналітичної компанії Scientifica [71]). Частка фінансування з боку бізнесу усталено зростає, причому форми фінансування різноманітні:

- фінансування на стадії заказу (результатом є патент);
- купівля генеральної ліцензії;
- придбання наукової лабораторії і включення її у склад структурних підрозділів компанії;
- софінансування спільно з іншими зацікавленими компаніями;
- моніторинг наукових досліджень і підключення на стадії патентування (переуступка патенту).

Таблиця 4.37

Основні параметри Програми розвитку нанотехнологій у Китаї

Цілі і задачі		Головні постулати зростання		Ключові суб'єкти наоіндустрії		Державні програми			
№ з/п	Перелік цілей і задач	№ з/п	Перелік постулатів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік програм	Основні напрями
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Організація і проведення дослідницьких проєктів у сфері нанотехнологій, в тому числі: фундаментальні дослідження, дослідно-конструкторські розробки, пілотні і комерційно-демонстраційні проєкти	1.	Наявність усталеного взаємозв'язку між дослідницькими центрами, виробництвом і кінцевими споживачами, що дозволяє китайській високотехнологічній промисловості динамічно розвиватися	1	Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>Постійний комітет і Голова Всекитайського зібрання народних представників (ПК ВЗНП);</li> <li>Державна рада, яку формує ПК ВЗНП;</li> <li>Міністерство науки і технологій (МНТ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Держада формує державну політику, в тому числі з науки і технологій;</li> <li>МНТ – формує політику і стратегію розвитку в тому числі наоіндустрії КНР</li> </ul>	1	Національний план №863 (Національна програма з досліджень і розробок у галузі високих технологій)	Трансформація (розвиток) на базі нанотехнологій до 2010 р. таких галузей, як: мікроелектроніки, нових матеріалів, телекомунікації та інших високотехнологічних галузей
2.	Розвиток комунікацій і кооперації між промисловими і освітніми організаціями. Створення «мостів» між учасниками бізнес-суспільства і університетами за допомогою організації конференцій і виставок	2.	Відносно дешева вартість праці, що дозволяє Китаю виробляти нанопродукцію з меншими витратами, ніж у США, Японії та ЄС	2	Мезорівень: складається з шести кластерів (регіонів): <ul style="list-style-type: none"> <li>Пекин: Національний центр нанонаук, Центр нанотехнологій у Китайській академії наук, Університет Цінхуа, Пекінський університет;</li> <li>Шанхай: Шанхайський центр розвитку нанотехнологій, Університет Цзяотун, Університет Фудань, Східний китайський університет, Східний китайський нормальний університет, Шанхайський університет;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Проводять наукові дослідження;</li> <li>здійснюють трансфер технологій;</li> <li>приймають участь у розвитку освітньої бази, наукового потенціалу</li> </ul>	2	Державна програма №973 (Національна програма з розвитку основних фундаментальних досліджень)	Дослідження з восьми напрямків: <ul style="list-style-type: none"> <li>сільське господарство;</li> <li>охорона здоров'я;</li> <li>ресурси;</li> <li>енергетика і транспорт;</li> <li>розробка нових матеріалів;</li> <li>інформатика (ІТ);</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.37

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
					<ul style="list-style-type: none"> <li>Шен'ян: Шен'янська національна лабораторія наук про наноматеріали;</li> <li>Сянь: Нанотехнологічний парк у Сянь (Nanotech Park in Xian);</li> <li>Ханчжоу: Чженцзянський університет у Ханчжоу (Zhejiang University in Hangzhou);</li> <li>Гонконг: Університет науки і технологій у Гонконзі, Політехнічний університет у Гонконзі</li> </ul>	і інфраструктури наноіндустрії в КНР			<ul style="list-style-type: none"> <li>міждисциплінарні дослідження</li> </ul>
3	Формування єдиної електронної бази даних про нанотехнології в Інтернеті, доступної усім учасникам наноіндустрії		Розміщення більшої частини розвинених країн, насамперед США і ЄС, своїх виробництв на території Китаю і як результат – розвиток міжнародного співробітництва і створення найновіших технологій, які, на думку експертів, Китай спроможний самостійно копіювати і виробляти [69]	3	Мікрорівень: 63 великих організацій [69], в тому числі: університети і лабораторії (19), підприємства обробної промисловості і наноматеріали (31), наномедицина (2), споживчі товари (11) та інші компанії малого і середнього бізнесу (повний перелік компаній приведено на сайті [70]). Крім того, працюють сотні організацій з інших країн (наприклад, ЄС і США)	В наногалузі Китаю середніх і малих компаній працює більше, ніж у будь-якій країні Азії. Найбільш популярними галузями наводосліджень є: хімія, автомобілебудування, споживчі товари і екологія		Програми призначення (наукові центри Китаю разом із вченими з США, ЄС і Росії)	Проекти реформування сучасної армії впровадження передових розробок наноіндустрії
4	Національна і міжнародна кооперація у сфері нанотехнологій	3							

В умовах фінансової кризи уряд Китаю у 2008 р. підготував ряд антикризових заходів загальною вартістю 584 млн дол. США [12, с. 120], які були витрачені на протязі 2009 – 2010 рр. на стимулювання перш за все внутрішнього споживчого попиту, зокрема: на наукові і технологічні інновації – 87,6 млрд дол. США; на технічне переозброєння і на покращення системи охорони здоров'я – 124,1 млрд дол. США.

Уряд **Республіки Корея** свої зусилля з підвищення конкурентоспроможності країни у галузі високих технологій сконцентрував у трьох напрямках: розвиток досліджень у сфері фундаментальної науки; забезпечення ефективного розподілу і застосування наукових і технологічних ресурсів; розширення міжнародного співробітництва. З метою більш ефективного планування, координації і оцінки політики в області науки і інновацій були прийняті такі заходи: у 2003 р. уряд поставив розвиток науки і технологій як пріоритетного завдання для прискорення економічного росту; статус міністра зі справ науки і технологій було підвищено до рівня Віце-Прем'єра; у 2004 р. було створено Управління зі справ науки і інноваційних технологій.

З метою створення національної індустрії нанотехнологій в Республіці Корея у 2001 р. була розроблена десятирічна **Національна програма розвитку нанотехнологій** на 2001 – 2009 рр. з бюджетом близько 2 млрд дол. США, яка реалізувалась під егідою Міністерства науки і технологій. Основні параметри програми наведені у *табл. 4.38* [12, с. 123 – 124].

За період 2000 – 2009 рр. Національна програма фінансувалась урядом Кореї, причому як із бюджетних коштів (заплановано профінансувати 855 млн дол. США), так і приватним сектором (планувалось інвестувати не менше 436 млн дол. США). В той же час, фактично за вказаний проміжок часу Республіка Корея вкладала у розвиток нанотехнологій порядку 1,6 млрд дол. США, з яких приблизно 70% – на НДДКР, 24% – на створення об'єктів інфраструктури [12].

За оцінками спеціалістів, Корея займає четверте місце у світі після США, Японії і Германії у розвитку нанотехнологій.

Ключовою програмою **Індії** в області нанотехнологій сьогодні є **програма «Місія нано»**, прийнята у 2001 р. в рамках 10-ї програми з науки і технологій [72]. Реалізує вказану програму Міністерство науки і технологій, зокрема його структурні підрозділи: департамент з науки і технологій (DST), а також рада з наукових і промислових досліджень [73]. Крім того, дослідженнями в області нанотехнологій займається ряд інших міністерств, в тому числі: Міністерство з розвитку людського потенціалу, Міністерство оборони тощо. За останні роки створено декілька нових інститутів з питань нанотехнологій [74].

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Таблиця 4.38

Основні параметри Програми розвитку нанотехнологій у Південній Кореї

Цілі і задачі		Пріоритетні сфери наноіндустрії		Ключові суб'єкти наноіндустрії		Підпрограми		
№ з/п	Перелік цілей	№ з/п	Перелік пріоритетів	№ з/п	Перелік суб'єктів	№ з/п	Перелік підпрограм	
1	Цілі програми до 2010 р: <ul style="list-style-type: none"> <li>увійти до десятки світових лідерів по ряду нанотехнологій, а за окремими технологіями – у п'ятірку лідерів</li> </ul>	1	Пріоритети фінансування програми: <ul style="list-style-type: none"> <li>науково-дослідні роботи;</li> <li>створення об'єктів інфраструктури;</li> <li>освіта і професійна підготовка спеціалістів</li> </ul>	1	Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>Вище-Прем'єр зі справ науки і технологій;</li> <li>Міністерство зі справ науки і технологій (МСНТ);</li> <li>Міністерство торгівлі, промисловості і енергетики (МТПІЕ);</li> <li>Міністерства освіти, інформації і засобів зв'язку, охорони здоров'я і соціальної політики, сільського господарства, оборони, охорони навколишнього середовища</li> </ul>	1	Уряд формує державну політику в області науки і технологій, в тому числі у сфері нанотехнологій; <ul style="list-style-type: none"> <li>МСНТ і МТПІЕ – формують політику і стратегію розвитку наноіндустрії і беруть на себе основні витрати на фінансування;</li> <li>інші міністерства – дже-репа бюджетного фінансування на реалізацію програми</li> </ul>	Визначає необхідний профіль навчочок і вмінь сучасного спеціаліста
2	Стратегічні цілі до 2015р: <ul style="list-style-type: none"> <li>завоювати 15% глобального ринку нанопродуктів;</li> <li>створити 500 компаній;</li> <li>створити не менш 30 ключових нанотехнологічних світового класу;</li> <li>вийти на 3-є місце у світі в області нанотехнологій</li> </ul>	2	Основні зусилля сконцентрувати на розвитку: <ul style="list-style-type: none"> <li>наоелектроніки;</li> <li>обробці і виробництву наноматеріалів;</li> <li>застосуванні нанопродуктів у енергетиці і біомедицині</li> </ul>	2	Мезо- і мікрорівень: корейські транснаціональні компанії, малий і середній бізнес	2	Елемент «Обладнання і інфраструктура»	Визначає необхідну кількість робочої сили у промисловості і обладнання для досліджень і виробництва
				3	Мезо- і мікрорівень: корейські транснаціональні компанії, малий і середній бізнес	3	Елемент «Освіта і тренінги» (основа взаємодії даних підпрограм)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Підготовка кадрів для промисловості;</li> <li>організація короткострокових програм підвищення кваліфікації працівників, що роблять;</li> <li>тренінги і програми навчання співробітників</li> </ul>

Рада з наукових і промислових досліджень здійснює управління Фінансовим фондом технічного розвитку, створеним урядом Індії. Діяльність ради спрямована на інтенсифікацію процесу комерціалізації національних науково-технічних розробок і закордонних технічних рішень.

Основні параметри програми наведені у *табл. 4.39* [12, с. 126 – 129].

«Місія нано» має раду, а також два підкомітети: групу радників з нанодосліджень (під головуванням абл. А. К. Суда, м. Бангалор) і групу разників із використання нанотехнологій (під головуванням доктора Г. Сундараражана, м. Хайдарабад). Бюджетне фінансування у 2006 – 2011 рр. склало 10 млрд індійських рупій.

У 2008 р. індійський уряд ухвалив створення автономного Інституту з нанодосліджень і нанотехнологій під егідою департаменту науки і технологій з обсягом інвестицій 1,42 млрд індійських рупій в рамках 11-ї програми з науки і технологій.

Дослідження у сфері нанотехнологій та виготовлення нанопродукції у Індії виконують більше 100 інститутів, перелік яких наведено у *табл. 4.40* [12, с. 126 – 127].

Фінансування нанонауки в Індії здійснюється в основному з бюджету, корпораціями або спонсорами. Венчурне фінансування практично відсутнє.

Рада з наукових і промислових досліджень приймає рішення щодо фінансування проекту (шляхом прямого інвестування – до 25% від загальної вартості проекту, або надання кредиту чи гранту) у жорсткій координації з діючими основними програмами науково-технічного і технічного розвитку, які розроблені провідними урядовими організаціями, а саме:

- Концептуальним прогнозом технічного розвитку до 2020 р. (Technology Vision 2020 Implementation Projects), який сформульований у 1996 р. Радою з технічної інформації, прогнозуванню і оцінкам (Technology Information, Forecasting and Assessment Council, TIFAC);
- Програмою підтримки національних технологій (Program Aimed at Technological Self Reliance, PATSER), яка розроблена Департаментом наукових і промислових досліджень (Department of Scientific and Industrial Research, DSIR);
- Програмою підтримки малих підприємців (Technopreneur Promotion Programme, TPP), що патронується DSIR і DST.



Таблиця 4.39

## Основні параметри програми розвитку нанотехнологій «Місія нано» в Індії

Цілі і завдання		Пріоритети фінансування		Ключові суб'єкти наноіндустрії		Сильні сторони програми		
№ з/п	Перелік цілей	№ з/п	Перелік пріоритетів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік сильних сторін
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Заохочення фундаментальних досліджень		Пріоритети <ul style="list-style-type: none"> <li>стимулювання фундаментальних науково-дослідних робіт;</li> <li>створення інфраструктури розвитку;</li> <li>підвищення кваліфікації персоналу;</li> <li>міжнародне співробітництво;</li> <li>державно-приватне партнерство</li> </ul>		Макрорівень: по ієрархії: <ul style="list-style-type: none"> <li>Уряд Республіки Індія;</li> <li>Міністерство науки і технологій (МніТ);</li> <li>Департамент з науки і технологій (ДНТ МніТ);</li> <li>Інститут з нанодосліджень і нанотехнологій ДНТ МніТ;</li> <li>Міністерство з розвитку людського потенціалу (МРЛП), Міністерство оборони (МО);</li> <li>Рада з наукових і промислових досліджень (РНПД МніТ), Департамент атомної енергії (ДАЕ), Департамент інформації (ДІ), Організація з оборонних досліджень (ООД)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уряд формує державну політику в області науки і технологій, в тому числі у сфері нанотехнологій;</li> <li>МніТ, МРЛП і МО – формують політику і стратегію розвитку наноіндустрії і беруть на себе основні витрати на фінансування;</li> <li>інші міністерства – ДАЕ, ДІ, ООД, РНПД МніТ – джерела бюджетного фінансування на реалізацію програми за напрямками: інформаційні технології, хімічні промислові, сільське господарство і матеріалознавство [75]</li> </ul>	1	Фінансування нанотехнологій здійснюється на всіх рівнях, що приваблює талановитих дослідників з усієї країни
2	Підтримка проєктів НДДКР окремих дослідників	1		1			2	Посилюється співробітництво із закордонними дослідниками, а також взаємодія дослідників і промисловців
3	Розвиток інфраструктури для нанодосліджень і технологій						3	Нові освітні програми стимулюють студентів до проведення наукових досліджень (для студентів доступні стипендії, що покривають вартість навчання)
4	Розвиток людського потенціалу у сфері нано							
5	Програми пошуку прикладного використання нанотехнологій							

Закінчення табл. 4.39

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Підвищення кваліфікації							
7	Створення центрів якості							
8	Міжнародне співробітництво							
9	Спільні проекти інститутів і підприємств, державно-приватне партнерство			2	Мезорівень: більше 100 інститутів та 12 недержавних (приватних) інститутів (що мають кафедри з нанодосліджень) виготовляють нанопродукцію	Розробка: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нових наноматеріалів;</li> <li>▪ нових методів великомасштабного виробництва наноматеріалів;</li> <li>▪ одержання нових властивостей при з'єднанні наноелементів;</li> <li>▪ покриття поверхні;</li> <li>▪ наноконпозиції;</li> <li>▪ виявлення лікувальних властивостей традиційних медичних продуктів (аюрведа) за допомогою нанотехнологій.</li> </ul> Менше розвинуті такі сфери, як: електроніка і нанофотоніка, що потребують роботи з окремими наноелементами		
		3			Мікрорівень: ряд малих підприємств і стартапів	Займаються окремими нанорозробками на замовлення державних і недержавних інститутів		

**Провідні інститути Індії, що займаються нанотехнологічними дослідженнями і розробками**

№з/п	Центри	Координатор програми
1	2	3
<b>I. Центри в області нанодосліджень</b>		
1	Індійський технологічний інститут Мадраса, Ченай	Проф. Т. Прадеп, кафедра хімії і регіональний сучасний інструментальний центр
2	Індійська асоціація розповсюдження науки, Калькутта	Проф. Д. Шакраворті
3	Університет Пуни	Проф. С. К. Кулкарні, кафедра фізики
4	Національний центр С. Н. Боза з фундаментальних наук, Калькутта	Проф. А. К. Райшаудхурі, S. N., Сектор III, блок JD
5	Національна хімічна лабораторія, Пуна	Д-р Сиварам, Директор
6	Центр передових наукових досліджень м. Дж. Неру, Бангалор	Проф. Г. У. Кулкарні, п/с Джаккур
7	Університет Банарас Хінду, Варанасі	Проф. О. Н. Сривастава
8	Індійський технологічний інститут, Канпур	Проф. Аштуш Шарма, кафедра хімічної інженерії
9	Індійський науковий інститут, Бангалор	Проф. С. Шандрасекарарам
10	Індійський технологічний інститут, Нью-Делі	Проф. Б. Р. Мехта, кафедра фізики
11	Інститут ядерної фізики Саха, Калькутта	Проф. М. К. Саньял, директор
<b>II. Центри нанотехнологій</b>		
1	Інститут медичних наук Амріта, Кочі, Керала (імплантати, інженерія тканин, дослідження стовбурових клітин)	Д-р Шантикумар В. Наір, Біомедичний інженіринговий центр, п/с Еламаккара
2	Національний центр С.Н. Боза з фундаментальних наук, Калькутта (мікроелектромеханічні системи / нанопродукти)	Проф. А. К. Райшаудхурі, Сектор III, блок JD
3	Інститут фундаментальних досліджень Тага (нанорозмірний ефект у біологічних системах і матеріалах)	Д-р Г. В. Шившанкар, Національний центр біологічних наук, кампус GKVK, Белларі Роуд, Бангалор
4	Індійський технологічний інститут, Бомбей, Мумбаї (наноелектроніка, полімерні наносенсори, нанобіотехнології)	Проф. Ашок Місра, Директор
5	Індійський науковий інститут, Бангалор (нанопристрої, нанокompозити, нанобіосенсори)	Проф. С. Шандрасекарарам, відділення хімічних наук
6	Індійський технологічний інститут, Канпур (електроніка, що друкується; наномоделі)	Проф. І. Н. Мохапатра, кафедра фізики
7	Індійська асоціація розповсюдження науки (фотоелектричні і сенсорні пристрої), Калькутта	Проф. Д. Д. Сарма, Центр передових матеріалів

Закінчення табл. 4.40

1	2	3
<b>III. Обчислювальні центри</b>		
1	Обчислювальний центр з матеріалознавства у Центрі передових наукових досліджень 10 ав. Дж. Неру, Бангалор	Проф. Баласубраманьян Сундарам, п/с Джаккур

В Індії широкого розвитку набули програми міжнародного співробітництва у проведенні нанодосліджень чи нанорозробок. Основні міжнародні програми і напрями роботи за ними в Індії наведені у табл. 4.41 [12, с. 131 – 132].

Таблиця 4.41

### Основні міжнародні програми Індії і напрями роботи за ними

№ з/п	Програма	Напрями роботи
1	«ЄвроІндіяМережа» (EuroIndiaNet), 2006 – 2007 рр.	Посилення співробітництва між ЄС та індійськими вченими і промисловцями в області нано [76] у 2006 – 2007 рр. в рамках FP6 EU
2	Індійсько-російське співробітництво, 2009 – 2010 рр.	У жовтні 2008 р. відповідно до Меморандуму про взаєморозуміння між Департаментом з науки і технологій Індії та Російським фондом фундаментальних досліджень (РФФІ) було відібрано за конкурсом 39 пропозицій, з яких 6 пов'язані з нанорозробками і реалізовувались на протязі двох років [77]
3	Індо-італійська програма	В рамках спільної програми науково-технічного співробітництва Департаментом з науки і технологій Індії, урядом Індії, МЗС Індії і Урядом Італії було ухвалено реалізацію спільних науково-дослідних проектів у різних сферах, з яких 10 проектів пов'язані з нанодослідженнями і нанотехнологіями в області електроніки, біотехнологій, матеріалознавства, енергетики і охорони навколишнього середовища [78]
4	Спільний проект з дослідниками і технологами з числа індійців, що проживають за кордоном (CP-STIO)	В рамках цієї програми Департаментом з науки і технологій Індії було профінансовано ряд проектів в області нанотехнологій [79]
5	Двосторонні програми Індія – Великобританія, Індія – Японія	В рамках двосторонніх програм між Індією і Великобританією [80], Індією і Японією [81] були реалізовані проекти з розробки сучасних матеріалів на базі нанотехнологій [79]

У 2007 р. створено неурядовий заклад – Консорціум з нанодосліджень і нанотехнологій Індії [82], що виступає промоутером нанотехнологічного розвитку. Завданнями консорціуму є: розвиток платформи для стратегічного співробітництва в режимі реального часу між дослідниками, корпоративним сектором, урядом, приватними лабораторіями, а також між підприємцями, інвесторами і провайдерами послуг просунення в області нанотехнологій, сучас-

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

них матеріалів, нановиробництва, електроніки, медицини, охорони здоров'я і навколишнього середовища, енергетики і біотехнологій. Із грудня 2007 р. уряд Індії намагається сформувати мережу з дослідників і промислових експертів в області нано [83].

#### 4.6. Перспективи розвитку нанотехнологій у Росії

##### 4.6.1. Основні федеральні програми розвитку нанотехнологічних досліджень

Росія звернула свою увагу на нанорозробки на 7 – 10 років пізніше, ніж провідні країни світу [84]. Сьогодні російський ринок нанотехнологій перебуває на початковому етапі свого становлення – на даний момент частка Росії в загальносвітовому технологічному секторі становить близько 0,3%, а на ринку нанотехнологій – 0,04%. Незважаючи на те, що в деяких важливих напрямках (нанофізика, нанохімія, наноматеріалознавство) Росія має кваліфікованих учених і помітні наукові результати [85 – 91], у цілому ряді галузей нанонауки (нанобіологія, наномедицина й т. п.) дослідження тільки починаються [1, с. 406]. При цьому залученість бізнесу в інвестиційний процес нанотехнологічної галузі досить низька.

Стратегічними національними пріоритетами Російської Федерації, викладеними в затверджених 30 березня 2002 р. Президентом Російської Федерації **«Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу»** [92], були визначені: підвищення якості життя населення, досягнення економічного зростання, розвиток фундаментальної науки, освіти й культури, забезпечення оборони й безпеки країни. Для досягнення цих цілей Урядом РФ було ухвалене рішення приділити особливу увагу прискореному розвитку **нанотехнологій** на основі накопиченого науково-технічного заділу в цій області й впровадженню їх у технологічний комплекс Росії.

У Росії перші зведені пропозиції з розвитку нанотехнологій були підготовлені робочою групою на чолі з нобелівським лауреатом академіком Ж. Алфьоровим і обговорені на засіданні міжфракційного депутатського об'єднання «Наука й високі технології» Державної Думи РФ на тему: *«Нанотехнологии – проблемы развития и подготовки кадров»* 26 жовтня 2004 р. [91].

Робочою групою під керівництвом генерал-лейтенанта С. Алфімова було підготовлено **«Концепцию развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года»**, що була схвалена в основному Урядом РФ 18 листопада 2004 р. [93]. У цій концепції було визначено:

основні напрями розвитку нанотехнологій у Росії, перспективи використання нанотехнологій у галузях економіки та ключові проблеми розвитку нанотехнологій у Росії, які наведені у *Додатку Б*.

Президент РФ у 2006 р. затвердив пріоритетні напрями розвитку науки, технологій і техніки, а також перелік критичних технологій, серед яких є напрям «*Нанотехнології і наноматеріали*». А вже 24 квітня 2007 р. була прийнята **Президентська ініціатива «Стратегія розвитку наноіндустрії у РФ»** (Пр. №688 від 24.4.07 р.), перший етап якої охоплює **2007 – 2011 рр.**, і заходи з впровадження якої викладено у Програмі координації робіт у сфері нанотехнологій і наноматеріалів в РФ (розп. Уряду РФ від 25.08.06 №1188-р).

24 квітня 2007 р. Урядом Російської Федерації затверджено «**Програму розвитку наноіндустрії в Російській Федерації до 2015 р.**» (Програма 2015), завданням якої є формування державної політики у сфері нанотехнологій з метою створення в Росії сучасної інфраструктури національної нанотехнологічної мережі (ННМ) для розвитку й реалізації потенціалу російської наноіндустрії.

Для розвитку нанотехнологій створено відповідну інфраструктуру: у 2007 р. утворено Російську державну корпорацію нанотехнологій «Роснотех», а також створено концерн «Наноіндустрія», 16 регіональних центрів нанотехнологій [7, с. 145]. Координацією наукових досліджень та інноваційної діяльності РФ в області нанотехнологій займаються, крім корпорації «Роснотех» і концерну «Наноіндустрія», також Російський науковий центр «Курчатівський інститут», Російська академія наук (РАН) і Російська академія медичних наук (РАМН).

Основні параметри першого етапу Стратегії розвитку наноіндустрії у РФ на 2007 – 2011 рр. та Програми розвитку наноіндустрії в Російській Федерації до 2015 р. наведені у *табл. 4.42* [7, с.145 – 147; 12, с. 243 – 247].

Загальний обсяг фінансування заходів нанотехнологічної стратегії Росії на період до 2015 р. становить 318 млрд руб. (або 11 млрд дол. США), причому у 2007 – 2008 рр. внесок держави склав 94 млрд руб. (або 3,5 млрд дол. США). Кризові явища у 2008 – 2009 рр. призвели до того, що статус нанотехнологічної ініціативи в Росії знизився до рівня федеральної програми розвитку. Але й сьогодні Росія не відстає від світових лідерів за обсягами державного фінансування у нанотехнології – вона посідає третє місце після США і країн Європи. В той же час, внутрішні продажі та експорт нанопродукції у 2009 р. не перевищували 4 – 5 млрд дол. США, що склало лише 2% від обсягу світового наноринку [7, с. 96; 147].

Основні параметри першого етапу реалізації Стратегії розвитку нанотехнологій у РФ на 2007 – 2011 рр. та Програми розвитку нанотехнологій в Російській Федерації до 2015 р.

№ з/п	Цілі і задачі	Пріоритетні сфери нанотехнологій		Ключові суб'єкти нанотехнологій		Федеральні цільові програми		Проблеми нанотехнологій		
		№ з/п	Перелік пріоритетів	№ з/п	Перелік суб'єктів	Основні функції	№ з/п	Перелік ФЦП	№ з/п	Перелік проблем
1	Створення у сфері високотехнологій більше 20 тис. робочих місць і збільшення капіталомісткості виробництва	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Підвищення якості медичного обслуговування населення	1	<p>Пріоритети фінансування:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>науково-дослідні роботи;</li> <li>створення об'єктів інфраструктури;</li> <li>оснащення необхідним обладнанням;</li> <li>освіта і професійна підготовка спеціалістів</li> </ul>	<p>Макрорівень: по ієрархії:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Перший Віце-Прем'єр;</li> <li>Урядова рада з нанотехнологій (3 робочі групи);</li> <li>Російська державна корпорація «Роснотекс»;</li> <li>Російський науковий центр «Курчатівський інститут»;</li> <li>концерн «Нанотехнології»;</li> <li>РАН, РАМН, РАСГН;</li> <li>Мінсвауки;</li> <li>Мінпромэнерго;</li> <li>Міноборони;</li> <li>Росатом, Роскосмос</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Уряд формує державну політику в області науки і техніки, в тому числі у сфері нанотехнологій;</li> <li>«Роснотекс», РНЦ «Курчатівський інститут», РАН, РАМН, РАСГН – формують політику і стратегію розвитку нанотехнологій і беруть на себе основні витрати на фінансування;</li> <li>інші міністерства – джерела бюджетного фінансування на реалізацію ФЦП</li> </ul>	<p>Национальна технологічна база на 2007 – 2011 рр.</p>	<p>Дослідження й розробки по пріоритетних напрямках розвитку науково-технологічного комплексу Росії на 2007 – 2012 рр.</p>	<p>Відсутність нормативно-правових актів, що визначають принципи розвитку й функціонування національної нанотехнологічної системи</p>	1	2
3	Поліпшення екологічної ситуації									

Закінчення табл. 4.42

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	Досягнення значного зниження матеріалоенергоємності промислової продукції		Основні зусилля сконцентрувати на розвитку: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ядерних технологій;</li> <li>▪ космічних технологій і телекомунікацій;</li> </ul>	2	<p><i>Мезорівень:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Державні наукові центри і галузеві інститути (248 наукових організацій);</li> <li>▪ Університети та вищі навчальні заклади (85 вузів, але тільки 3,6% у наноіндустрії)</li> </ul>	<p>Проводять наукові дослідження у напрямках:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноелектроніка;</li> <li>▪ наноінженерія;</li> <li>▪ функціональні наноматеріали для енергетики, для космічної техніки;</li> <li>▪ нанобіотехнології;</li> <li>▪ конструкційні матеріали;</li> <li>▪ композитні наноматеріали;</li> <li>▪ нанотехнології для систем безпеки</li> </ul>		Розвиток інфраструктури	2	Значне (майже на третину) скорочення у 2009 р. обсягу бюджетного фінансування ФЦП «Розвиток інфраструктури наноіндустрії в Російській Федерації на 2008 – 2010 рр.»
5	Збільшення обсягу товарообігу російської напродуції до 2015 р. повинно досягти 4 трлн руб (150 млрд дол. США), що дозволить зайняти до 4% світового ринку у наносфері	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ медицині;</li> <li>▪ енергоефективності;</li> <li>▪ інформаційних технологіях,</li> </ul> <p>в т. ч. створенні суперкомп'ютерів [94]</p>	3	<p><i>Мікрорівень:</i> 131 підприємство (27% усіх операторів наноіндустрії Росії)</p>	<p>Постачають напродуцію у такі галузі (90% поставок):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ машинобудування і приладобудування;</li> <li>▪ космічна і авіаційна промисловість;</li> <li>▪ медицина;</li> <li>▪ оборонно-промисловий комплекс;</li> <li>▪ енергетика</li> </ul>	3	Розвиток інфраструктури наноіндустрії в Російській Федерації на 2008 – 2010 рр.	3	Припинено оснащення 10 науково-освітніх центрів за напрямом «Нанотехнології» [95]



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

На цей час також реалізується Федеральна адресна інвестиційна програма, програми Російської академії наук (РАН) і Російського фонду фундаментальних досліджень (РФФД), а також ряд федеральних цільових програм Міністерства освіти і науки РФ, що передбачають розвиток спеціалізованих напрямків наноіндустрії.

До основних *федеральних цільових програм (ФЦП) в галузі нанотехнологій* слід віднести:

- 1) у 2004 р. було прийнято **ФЦП «Національна технологічна база» на 2005 – 2006 рр.** (програму подовжено на **2007 – 2011 рр.**), у рамках якої проводилися роботи зі створення наноматеріалів і нанотехнологій (перелік яких був підготовлений робочою групою під керівництвом академіка М. Алфімова) із щорічним фінансуванням в обсязі 70 – 80 млн дол. США [97];
- 2) у 2006 р. було погоджено **ФЦП «Дослідження й розробки по пріоритетних напрямках розвитку науково-технологічного комплексу Росії на 2007 – 2012 рр.»** із фінансуванням в обсязі 134 млрд руб. (або 5 млрд дол. США), у рамках якої приділяється особлива увага розділу *«Нові матеріали й хімічні продукти»*. У директивних документах цієї ФЦП відзначається, що зазначений розділ є важливим для забезпечення прогресивних зрушень у різних галузях промисловості, енергетиці, транспорті й зв'язку, оборонному комплексу, медицині й охороні здоров'я, при виробництві продовольчих товарів, у подальших наукових дослідженнях [98]. Виконання пошуково-прикладних досліджень і реалізація розробок дозволить:
  - створити технологічні основи, що дозволяють мінімізувати витрати при очищенні й утилізації відходів, а також при постачанні населення якісною питною водою;
  - розробити широку гаму зразків каталізаторів нових поколінь зі зниженням капітальних витрат на створення відповідних виробництв;
  - зменшити видаток енергоресурсів і сировини, забезпечити екологічну безпеку;
  - одержати зразки нових полімерних матеріалів, еластомерів, композиційних матеріалів, надміцних волокон і ниток, жаростійких багат шарових систем;
  - розробити технологічні основи виробництва надтвердих матеріалів, фулеренів, вуглецевих нанотрубок;

- створити нові типи мембранних матеріалів;
- створити зразки гнучких автоматизованих виробництв;
- розробити екологічно безпечні й ресурсозберігаючі технології виробництва продукції для соціального сектора;
- здійснити моделювання хімічних інцидентів і фізико-хімічної оцінки безпеки об'єктів хімічної промисловості;
- розробити технологічні основи виробництва керамічних, композиційних скломатеріалів, корозійностійких сортів сталі, конструкційних легких сплавів;
- допрацювати технологічні рішення виробництва матеріалів для волоконно-оптичних ліній зв'язку й обчислювальної техніки й т. ін.

3) **ФЦП «Розвиток інфраструктури наноіндустрії в Російській Федерації на 2008 – 2010 рр.»**, у якій було виділено бюджетне фінансування в обсязі 27,7 млрд руб. (або трохи більше 1 млрд дол. США) для низки технічних і інфраструктурних напрямків (табл. 4.43).

Таблиця 4.43

**Обсяги фінансування ФЦП «Розвиток інфраструктури наноіндустрії в РФ на 2008 – 2010 рр.» по державних замовниках і джерелах фінансування (млн руб., у цінах відповідних років)**

№ з/п	Напрямок	Держзамовник	Головна організація галузі	Обсяг фінансування - усього	У тому числі		
					2008	2009	2010
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Наноелектроніка (у частині прикладних робіт і НДДКР) і композитні матеріали	Роспром	ФДУП «НДІ фізичних проблем ім. Ф. Лукіна»	1166,6	411,8	456,2	298,6
2	Композитні наноматеріали	Роспром	ФДУП «Всеросійський НДІ авіаційних матеріалів»				
3	Наноінженерія	Рососвіта	ДОЗ ВПО «Московський державний інститут електронної техніки (технічний університет)	7508,6	2946,6	2200,9	2361,1
4	Функціональні наноматеріали для енергетики	Росатом	ФДУП «Всеросійський НДІ неорганічних матеріалів ім. А. Бочвара	1097,5	353	400,4	344,1
5	Функціональні наноматеріали для космічної техніки	Роскосмос	ФДУП «Дослідницький центр ім. М. Келдиша»	777	222	277,5	277,5

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.43

1	2	3	4	5	6	7	8
6	Нанобіотехнології	Роснаука	ФДУ Російський науковий центр «Курчатівський інститут»				
7	Конструкційні наноматеріали	Роснаука	ФДУП «Центральний НДІ конструкційних матеріалів «Прометей»; ФДУ «Технологічний інститут надтвердих і нових вуглецевих матеріалів»	13730,4	5335,5	4339,1	4055,8
8	Нанотехнології для систем безпеки	ФСТЕК Росії	ФДУП «Центральний НДІ хімії й механіки»	874,2	446,4	270,2	157,6
	Ростехрегулювання			1934,9	614,7	654,5	665,7
	Російська академія наук			643,8	277,5	210,9	155,4
Усього				27733,0	10607,5	8809,7	8315,8

За планами російського уряду в 2015 р. Російська Федерація в загальному обсязі повинна виготовити продукції із застосуванням нанотехнологій на суму до 2,5 трлн дол. США. За словами Президента Російської Федерації Д. Медведева, ринок російської наноіндустрії до 2015 р. повинен досягти обсягу в 900 млрд руб. При цьому чверть вироблених у галузі товарів піде на експорт, що дозволить знизити залежність економіки країни від продажу енергетичних ресурсів. У найближчі п'ять років російський уряд планує вкласти в розвиток нанотехнологій 318 млрд руб. [99, с. 75].

#### 4.6.2. Розвиток ринку нанопродуктів і напрямки комерціалізації нанотехнологій

У дослідженні, проведеному у 2008 – 2010 рр. в рамках аналітичного проекту Міністерства освіти і науки Російської Федерації, зроблена спроба представити систематизовану картину **російського ринку нанопродуктів** очима спеціалістів у галузі маркетингу, конкуренції й управління [12]. У цьому дослідженні наведено маркетингове дослідження наноіндустрії Росії, подано аналіз загроз і можливостей ринку, стратегій проникнення на ринок і механізмів створення наноіндустрії, що генерують прибуток від наноінновацій. За результатами вказаних досліджень було з'ясовано, що кількість виробників російських нанопродуктів за 2008 – 2009 рр. збільшилась удвічі – з 60 до 131 підприємства, разом з тим спрямованість структури індустрії у своїй більшості

залишається науково-освітньою: суб'єкти російської наноіндустрії спеціалізуються на НДДКР (49%), освіті (17%) і виробництві (27%). У наноіндустрії Росії працює 580 тис. осіб, з них 32 тис. осіб безпосередньо зайняті нанотехнологіями, що складає 5 – 6%. Більше 90% дослідників спеціалізуються в області наноматеріалів, і решта 10% – в індустріальних секторах [12, с. 243].

За результатами російських досліджень [12] приведемо скорочений опис російського ринку нанопродуктів з точки зору основних характеристик суб'єктів, які представляють наноіндустрію Росії і згруповані у 6 блоків: «Наука», «Виробництво», «Кадри», «Центри колективного користування (ЦКП)», «Торівля», «Інші організації»

У блок «**Наука**» входять 248 наукових організацій, загальний обсяг нанотехнологічних досліджень яких у 2009 р. досяг 5,1 млрд руб. (200 млн дол. США). Основні характеристики блоку «Наука» наведені у табл. 4.44 [12, с. 245].

Таблиця 4.44

**Загальні характеристики блоку «Наука» наноіндустрії Росії**

№ з/п	Характеристика	Масштаб наукової організації		
		малі	середні	великі
1	Кількість працюючих, осіб	до 50	від 50 до 500	більше 500
2	Кількість наукових організацій, од.	77	84	87
3	Питома вага співробітників, що зайняті в області нанотехнологій, %	57	19	5
4	Обсяг нанотехнологічних НДДКР, млрд руб.	0,4	1,6	3,1
5	Середній обсяг нанотехнологічних НДДКР, що приходить на одну організацію, млн руб.	5,0	20,0	40,0

В Росії, як і в усьому світі, основний обсяг нанотехнологічних досліджень сконцентровано у державному секторі і тільки приблизно 15% – у приватному. Більшість наукових організацій (57%) розташовано у Московському та Санкт-Петербурзькому регіонах; 44% наукових організацій працює з об'єктами в діапазоні 1 ... 10 нм; середня питома вага співробітників, що зайняті в області нанотехнологій – 6%; середній обсяг нанотехнологічних НДДКР – 5,1 млрд руб.; середній обсяг нанотехнологічних НДДКР, що приходяться на одну організацію і з загального обсягу малих, середніх і великих наукових організацій, склав 20 млн руб.

Федеральну державну установу *Російський науковий центр (ФДУ РНЦ) «Курчатівський інститут»* (керівник – академік М. Ковальчук) призначено головною організацією за декількома основними напрямами: «Нанобіотехно-

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

логії», «Наноенергетика», «Нанотехнології ПЕК». Він також є профільною організацією з напрямів «Наноелектроніка», «Наноінженерія», «Функціональні наноматеріали й високочисті речовини», «Функціональні наноматеріали для енергетики», «Функціональні наноматеріали для космічної техніки», «Конструкційні наноматеріали», «Нанотехнології для систем безпеки».

Для розвитку й координації робіт у галузі нанотехнологій:

- 1) у 2007 р. було створено новий підрозділ у Російській академії наук – *Відділення нанотехнологій та інформаційних технологій* під керівництвом академіка Є. Веліхова (заступник – Ж. Алфьоров);
- 2) у 2008 р. створено загальноросійську громадську організацію «*Нанотехнологічне товариство Росії*» (НТР), президентом якої був обраний академік РАН Ю. Третьяков (МДУ).

У цей час у світі в цілому видано понад 10 000 патентів на винаходи в галузі нанотехнологій. Понад 2030 патентів зареєстровано в Росії, але з них російськими патентовласниками є не більше 30 чоловік. У цілому, найбільші за обсягами фундаментальні науково-дослідні роботи з нанотехнологій проводяться за такими напрямками [99, с. 66 – 69]:

- «Фізика наноструктур» під керівництвом академіка РАН, нобелівського лауреата Жореса Івановича Алфьорова;
- «Перспективні технології й устрої в мікро- і наноелектроніці» під керівництвом академіка РАН Каміля Ахметовича Валієва.

Так, у *Фізико-технічному інституті ім. А. Йоффе РАН* під керівництвом Ж. Алфьорова здійснюються розробки напівпровідникових наногетероструктур і інтегральних схем, що одержали міжнародне визнання (Нобелівська премія 2000 р. в галузі фізики). Відома в цей час світлодіодна техніка базується на таких гетероструктурах. Значні результати нанотехнологічних досліджень досягнуті в *Інституті проблем технології й макроелектроніки РАН* під керівництвом В. Аристова, а також у *Фізичному інституті ім. П. Лебедева РАН* під керівництвом Ю. Копаєва.

Зокрема, фундаментальні дослідження в галузі хімічних технологій дозволили одержати нанокристалічні (НК) і надмікрочристалічні (НМК) матеріали, що володіють комплексом особливих фізико-хімічних і механічних властивостей. Вони можуть успішно використовуватися в екстремальних умовах експлуатації: при низьких температурах, у зоні інтенсивного радіаційного випромінювання, у високонавантажених конструкціях і агресивних середовищах. На основі НК- і НМК-структур можна створювати металеві й інтерметалеві матеріали з високими властивостями, що демпфірують, високоміцні й надлегкі ме-

талополімерні композити для застосування в постійних магнітах, високовольтних контактах, каталізаторах і фільтруючих елементах, а також у медицині для виготовлення надміцних, надлегких, корозієстійких кісткових імплантатів.

Середній обсяг нанотехнологічних НДДКР, що приходить на одну організацію у 2009 р. досяг 20 млн руб. (див. табл. 4. 44), що у 10 – 15 разів менше наукових гранів, які одержують дослідники у США.

Щорічний приріст усіх нанотехнологічних досліджень у Росії складає приблизно 19%, причому найбільш високими темпами зростають витрати на НДДКР по спецобладнанню і приладовій базі – на 48% щорічно. У табл. 4.45 приведено дані щодо росту обсягів наукових розробок для індустріальних секторів [12, с. 245].

Таблиця 4.45

**Обсяги наукових досліджень за індустріальними секторами наноіндустрії Росії**

№ з/п	Сектор	Щорічний приріст обсягів	Перспективні області досліджень
1	Медицина і біотехнології	15%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ комплексні високочисті вакцини, які швидко адаптуються до вірусів, що мутують;</li> <li>▪ тест-системи на основі біочипів для діагностики ряду серйозних захворювань;</li> <li>▪ нанокераміки для кісної хірургії;</li> <li>▪ лікарські нанопрепарати</li> </ul>
2	Обробна промисловість	12%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ селективні каталізатори;</li> <li>▪ адсорбенти;</li> <li>▪ хімічно стійкі мембрани для хімічної, атомної, нафтопереробної промисловості і виділення компонент з рідких технологічних середовищ;</li> <li>▪ багатофункціональних фільтраційних установок на основі наноструктурних поруватих матеріалів, включаючи реактори для переробки легкого вуглеводневого палива;</li> <li>▪ застосування в галузях автомобілебудування і літакобудування (на жаль, дуже малочислені внаслідок важкого стану цих галузей і падіння попиту на російську техніку)</li> </ul>
3	Електроніка і ІКТ	10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ НВЧ-електроніка, оснований на використанні нанорозмірних гетероструктур;</li> <li>▪ малогабаритні скануючі фазовані антенні решітки високого розділення з наносекундною швидкодією;</li> <li>▪ напівпровідникові лазери;</li> <li>▪ нанофотоніка</li> </ul>

Наукові дослідження (без одержання патентів або дослідних зразків) виконуються у 90% випадків при слабкій галузевій спеціалізації досліджень. Головні

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

сфери використання наукових результатів – подальші НДР, ДКР і освіта. Більшість споживачів – наукові, освітні заклади і органи державного управління при невеликій комерційній зацікавленості з боку виробничих компаній.

З точки зору застосування результатів наукової діяльності у секторах наноіндустрії, розподіл товарів, вироблених за допомогою нанотехнологій, виглядає таким чином: наноматеріали і технології їх одержання – 93 % (складають сьогодні ядро ринку); обробна промисловість та інші застосування – 27%; медицина і біотехнології – 21%; енергетика – 13%; електроніка і ІКТ – 11% [12, с. 246].

Блок «**Виробництво**» складається зі 131 підприємства (27% усіх операторів наноіндустрії Росії), які у 2009 р. реалізували нанопродукції на суму 18,2 млрд руб. – у середньому 139 млн руб. на одне підприємство (на світовому ринку за вказаний період продано практично у 40 разів більше – 23,4 млрд дол. США з урахуванням коректив, які внесла криза (–15% від очікуваних)). Більше 50% усіх виробничих підприємств розташовано у Центральному федеральному окрузі (з найбільшою концентрацією у Московському регіоні – 41%), у Приволзькому і Північно-Західному округах – 14 і 13% відповідно. Практично 48% компаній працює в діапазоні 1... 10 нм. Питома вага співробітників, зайнятих в області нанотехнологій, для виробничих підприємств не перевищує 5%. У той же час, у малих і середніх компаніях, спеціалізація значно вища – 59% і 29% відповідно. Саме в невеликих компаніях широко розповсюджений варіант організації виробництва, коли нановиробництвом зайняте усе підприємство, що визначає надзвичайну важливість пріоритетного стимулювання середнього і малого нанобізнесу. Основні характеристики блоку «Виробництво» наведені у табл. 4.46 [12, с. 248].

Таблиця 4.46

#### Загальні характеристики блоку «Виробництво» наноіндустрії Росії

№ з/п	Характеристика	Масштаб наукової організації		
		малі	середні	великі
1	Кількість працюючих, осіб	до 50	від 50 до 500	більше 500
2	Кількість підприємств, од	64	39	28
3	Питома вага співробітників, що зайняті в області нанотехнологій, %	59	29	2
4	Обсяг продажів, млрд руб.	1,0	9,5	7,6
5	Середній обсяг продажів, що приходить на одну організацію, млн руб.	16,0	245,0	273,0



Серед галузей – споживачів російських нанопродуктів на внутрішньому (російському) ринку лідирують машинобудування і приладобудування, космічна і авіаційна промисловість, медицина, оборонно-промисловий комплекс і енергетика (всього 90% поставок). У табл. 4.47 наведено порівняння рейтингів галузей – споживачів російської нанопродукції на російському і світовому ринках нанопродуктів [12, с. 249].

Таблиця 4.47

**Рейтинг галузей – споживачів російської нанопродукції на російському і світовому ринках**

Рейтинг	Російський ринок	Рейтинг	Світовий ринок
1	Машинобудування	1	Аерокосмічна промисловість і оборона
2	Приладобудування	2	Автомобільна промисловість і транспортування
3	Космічна і авіаційна промисловість	3	Будівництво
4	Медицина	4	Текстильна промисловість
5	Оборонно-промисловий комплекс	5	Виробництво і перерозподіл енергії
6	Енергетика	6	Охорона здоров'я
7	–	7	Виробництво і пакування продуктів харчування і напоїв
8	–	8	Інформаційні технології і комунікації

Прогноз обсягів продаж у 2015 р. досягне 56,8 млрд руб. (на основі даних керівників і спеціалістів компаній про майбутні продажі), а з урахуванням інвестицій ДК «Роснанотех» у 2008 – 2009 рр. – 211,6 млрд руб. [12, с. 250].

Для реалізації державної політики й розвитку інноваційної інфраструктури в сфері нанотехнологій, а також реалізації проектів зі створення перспективних нанотехнологій і наноіндустрії спеціальним Федеральним законом від 19 липня 2007 р. №139-ФЗ було засновано Державну корпорацію «Російська корпорація нанотехнологій» (з 20 серпня 2008 р. – «РОСНАНО»). У її статутний капітал уряд Російської Федерації вніс майновий внесок у розмірі 130 млрд руб. (або приблизно 5 млрд дол. США) для забезпечення діяльності корпорації, а ще 50 млрд руб. доручено залучити на відкритих конкурсах. Відповідно до розпорядження уряду Російської Федерації від 17 грудня 2010 р. № 2287-р. (державна корпорація «Російська корпорація нанотехнологій» була перетворена у відкрите акціонерне товариство (ВАТ), процедура завершилася 11 березня 2011 р.). Органами управління компанією є наглядацька рада, правління й генеральний директор. Органом внутрішнього фінансового контролю



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

є ревізійна комісія. Також у «Роснано» сформовано консультативний орган – науково-технічну раду.

На кінець 2010 р. наглядацька рада «Роснано» схвалила до софінансування 93 проекти (82 інвестиційні проекти, 7 фондів і 4 наноцентри) із загальним бюджетом 302,1 млрд руб., включаючи частку компанії в обсязі 123,1 млрд руб. У «Роснано» до вказаної дати надійшло 1758 замовлень на софінансування проєктів у сфері нанотехнологій, з яких 1037 було відхилено, 308 перебували у стадії внутрішньої науково-технічної й інвестиційної експертизи, а 320 проходили стадію розгляду в науково-технічній раді й в інвестиційному комітеті [100].

У табл. 4.48 наведено основні напрями інвестиційної діяльності «Роснано», а також представлені основні тематичні напрямки створюваної національної наномережі [102].

Таблиця 4.48

#### Основні напрями інвестиційної діяльності «Роснано» і основні тематичні напрями створюваної в РФ наномережі до 2015 р.

№ з/п	Напрями інвестиційної діяльності «Роснано»	Обсяг інвестицій, млрд руб.	Обсяг реалізації (план до 2015 р.), млрд руб.	Тематичні напрямки національної наномережі
1	Наноструктуровані матеріали	3,3	21,7	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Композиційні наноматеріали;</li> <li>▪ Функціональні наноматеріали з особливими фізичними властивостями;</li> <li>▪ Функціональні наноматеріали для енергетики</li> </ul>
2	Сонячна енергетика й енергозбереження	3,6	10,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноенергетика;</li> <li>▪ Нанотехнології ПЕК</li> </ul>
3	Медицина й біотехнології	1,3	4,6	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанобіотехнології (наномедицина, нанофармакологія, нанотехнології для сільського господарства)</li> </ul>
4	Оптична й наноелектроніка	3,4 (з них 1,8 – корпорація)	7,4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноелектроніка</li> </ul>
5	Машинобудування й металообробка			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Конструкційні наноматеріали (вуглецеві матеріали, метали, сплави, скла, кераміка, полімери)</li> <li>▪ Наноінженерія;</li> <li>▪ Нанотехнології для безпеки;</li> <li>▪ Метрологія й стандартизація в галузі нанотехнологій</li> </ul>
6	Розвиток нанотехнологічної інфраструктури			–

Сьогодні в Росії виробництвом комерційних партій наночасток займається ряд відомих науково-дослідних центрів (табл. 4.49) [99, с. 121 – 122].

Таблиця 4.49

**Деякі російські виробники наноматеріалів**

№ з/п	Виробник, місто	Наноматеріали, що виробляються
1	Галузева лабораторія (при Московському інженерно-фізичному інституті (МІФІ)), Москва	Синтез нанодисперсних порошків (вуглецевих, металевих, оксидних) для зниження температури спікання паливних таблеток двоокису урану, фільтрів надтонкого очищення, водневих акумуляторів, антикорозійних покриттів, магнітних фарб для захисту цінних паперів
2	Інститут фізичної хімії РАН, Москва	Тонкі наноструктуровані алмазні плівки
3	Інститут фізики твердого тіла РАН, Черногловка	Графітові нановолокна й вуглецеві нанотрубки, насичені 6 – 6,9% (за масою) водню
4	Інститут електрофізики УрВ РАН, Єкатеринбург	Одержання оксидних нанопорошків
5	Інститут фізики міцності й матеріалознавства СВ РАН, Томськ	Плазмове нанесення наноструктурованих покриттів
6	Інститут хімії твердого тіла й механохімії СВ РАН, Новосибірськ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Механохімічний синтез наноматеріалів;</li> <li>▪ Нанокompозити на основі твердих матеріалів з високою іонною провідністю для компактних джерел електроживлення, мініатюрних батарейок;</li> <li>▪ Наноструктуровані аспірин і срібло</li> </ul>
7	НТЦ, НІПА, НДІ прикладної акустики, Нанотех-Дубна	Квантові точки для оптичних сенсорів, флуоресцюючих маркерів, фотосенсибілізаторів у медицині, фотодетекторів в інфрачервоній галузі, сонячних батарей, світлодіодів, джерел білого світла, одноелектронних транзисторів і нелінійно-оптичних пристроїв

Деякі найбільш відомі російські виробники, що випускають нанотехнологічну продукцію світової якості (табл. 4.50) [99, с. 73 – 74].

Таблиця 4.50

**Деякі найбільш відомі російські виробники нанотехнологічної продукції**

№ з/п	Підприємство-виготовлювач	Найменування продукції
1	2	3
1	ЗАТ «НТ – МДТ»	Скануючі зондові мікроскопи, дослідницьке устаткування й т. ін.
2	ВАТ «Науково-виробниче підприємство «Квант»	Автономні джерела електроживлення й засоби діагностики
3	ТОВ «Науково-виробничий центр заводу «Червоний прапор»	Фотоелектричні перетворювачі, фотоелектричні сонячні модулі й наземні сонячні енергоустановки

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.50

1	2	3
4	ЗАТ НВФ «Мікран»	Наногетероструктурна НВЧ-електроніка, апаратура бездротових систем зв'язку й телекомунікацій
5	ТОВ «Світлана-Оптоелектроніка»	Світлодіодні світильники й устаткування
6	Nano Solar Technology Ltd	Сонячні модулі за технологією тонких плівок Micromorph
7	ТОВ «Мікроприлад Технолджі»	Різальний інструмент із надтвердого наноструктурованого матеріалу
8	ВАТ «Північсталь»	Нанокompозитні сталі
9	ТОВ «Нанобетон»	Наномодифікований бетон, будівельна продукція
10	ТОВ «Лабораторії тріботехнології»	Нанотехнологічна автохімія, автокосметика
11	ВАТ «Амальгама Матеріалз Груп»	Нанодисперсні порошки оксидів металів
12	ТОВ «Ра»	Апарати для мембранного лікування й/або донорського плазмодифузії й гемосорбції й т.д.
13	ТОВ «Інститут прикладної нанотехнології»	Ортопедичні протези, бактерицидні наноматеріали
14	ЗАТ «Лабораторія Нізар-А»	Нанокосметика (маски, креми, бальзами й т. ін.)
15	ТОВ «Геліос»	Зубна паста з наночастинками срібла, нанокосметика

Найбільш перспективними напрямками, на думку фахівців «Роснано», є: нанобіотехнології, наноматеріали (особливо, створення нових каталізаторів), оптика і електроніка (зокрема розробка світлодіодів) [97].

Корпорація «Роснано» приймає участь у Міжнародному інвестиційному фонді нанотехнологій, створення якого спрямовано на розширення інвестиційних можливостей цієї корпорації шляхом залучення коштів російських і зарубіжних інституціональних і стратегічних інвесторів у реалізацію нанотехнологічних проектів. Крім того, наглядова рада «Роснано» схвалила її участь у Російському фонді венчурних інвестицій, створеному разом з Міжнародним фондом за участі групи ВТБ і компанії Draper Fisher Jurvetson (DFJ) [7, с. 151].

У цей час, у рамках загального проекту вивчення ринку нанотехнологій, Інститут статистичних досліджень і економіки знань (ІСДЕЗ) Державного університету «Вища школа економіки» відповідно до контракту з «Роснано» проводить Форсайт-дослідження з метою побудови прогнозів ринків сфери нанотехнологій і визначення найбільш перспективних напрямів розвитку даних ринків (виробів і технологій) на коротко-, середньо- і довгостроковий періоди (до 2030 року). Багаторівневе анкетне опитування за методом Дельфі вітчизняних і закордонних експертів проводиться у два етапи (первинна оцінка

й уточнення), а потім будується система дорожніх карт застосування нанотехнологій у різних галузях, у тому числі енергозбереженні, аерокосмічній техніці тощо [98].

У блок «**Кадри**» входять 85 вузів Росії, але тільки 3,6% робітників цих вузів безпосередньо пов'язані з нанотехнологіями. Щорічний випуск студентів для наноіндустрії у 2009 р. склав 6800 чол., з яких 10% працює за спеціальністю (в основному, у сфері наукових досліджень) в Росії. При цьому найбільш значні індустріальні сектори – «Енергетика» і «Обробна промисловість» – у найменшій мірі забезпечені профільними молодими спеціалістами [12, с. 250].

Біля 60% навчальних закладів, які готують спеціалістів для роботи в наноіндустрії Росії, виконують нанотехнологічні НДДКР переважно у таких галузях, як: харчова промисловість, машинобудування і приладобудування, нафтогазовий комплекс, металургія і енергетика. У найменшому ступені вузівська наука присутня у біології, фармацевтиці, медицині і хімічній промисловості. У табл. 4.51 наведено розподіл російських вузів, що проводять нанотехнологічні НДДКР, у залежності від областей підготовки кадрів для наноіндустрії [12, с. 254].

Таблиця 4.51

**Питома вага російських вузів, що проводять нанотехнологічні НДДКР, у залежності від областей підготовки кадрів для наноіндустрії**

№ з/п	Область підготовки кадрів для наноіндустрії	Не проводять НДДКР, %	Проводять НДДКР, %
1	2	3	4
1	Видобуток корисних копалин	50	50
2	Біологія	37	63
3	Атомна енергетика	37	63
4	Освіта	35	65
5	Фармацевтика	33	67
6	Інше	33	67
7	Будівництво	33	67
8	Оборонно-промисловий комплекс	30	70
9	Хімічна промисловість	29	71
10	Медицина	25	75
11	Сільське господарство	25	75
12	Космічна і авіаційна промисловість	21	79
13	Енергетика	17	83
14	Металургія	17	83

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.51

1	2	3	4
15	Наука, наукові дослідження	16	84
16	Нафтогазовий комплекс	10	90
17	Виробництво матеріалів / компонентів електронної техніки	10	90
18	Виробництво наноматеріалів і компонентів до них	9	91
19	Машинобудування / приладобудування	9	91
20	Харчова промисловість	0	100

Більш 40% російських вузів співробітничать з закордонними партнерами (з Мюнхенським технічним університетом, Університетом Ліль, Масачусетським технологічним інститутом та ін.). У табл. 4.52 наведено рейтинг вузів – світових лідерів, серед яких російські вузи (на думку опитаних в ході дослідження проректорів російських університетів) займають більше половини позицій [12, с. 255].

Таблиця 4.52

#### Навчальні заклади, визнані респондентами світовими лідерами в області нанотехнологій

№ з/п	Назва навчального закладу	Рейтинг
1	2	3
1	Масачусетський технологічний інститут, США	1
2	Московський державний університет ім. М. Ломоносова, Росія	2
3	Московський інститут електронної техніки (МИЕТ), Росія	3
4	Стенфордський університет, США	4
5	Санкт-Петербурзький державний електротехнічний університет (ЛЕТІ), Росія	5
6	Московський інститут сталі і сплавів (МІСІС), Росія	6
7	Каліфорнійський університет у Берклі, США	7
8	Корнельський університет, США	8
9	Інститут Е.Дрекслера, США	9
10	Каліфорнійська академія нанотехнологій, США	10
11	Університет Іллінойса, США	11
12	РНЦ «Курчатівський інститут», Росія	12
13	Південний федеральний університет (ЮФУ), Росія	13
14	Санкт-Петербурзький державний університет, Росія	14
15	Московський фізико-технічний інститут (МФТІ), Росія	15

Закінчення табл. 4.52

1	2	3
16	Університет Райса, США	16
17	Томський політехнічний університет (ТПУ), Росія	17
18	Московський державний технічний університет ім. Н. Баумана, Росія	18

Блок «**Центри колективного користування, ЦКП**» представлений 52 ЦКП (або 11% від усіх організацій наноіндустрії Росії), які являють собою малі та середні фірми (65%). Серед ЦКП – найбільша питома вага співробітників, які безпосередньо зайняті в області нанотехнологій (11%). Основні характеристики блоку «ЦКП» наведені у табл. 4.53 [12, с. 256].

Таблиця 4.53

**Загальні характеристики блоку «ЦКП» наноіндустрії Росії**

№ з/п	Характеристика	Масштаб наукової організації		
		малі	середні	великі
1	Кількість працюючих, осіб.	до 50	від 50 до 500	більше 500
2	Кількість підприємств, од	22	12	18
3	Питома вага співробітників, що зайняті в області нанотехнологій, %	66	17	10

Серед російських ЦКП: 40% – розташовані у Московському та Санкт-Петербурзькому регіонах, 61% – працює в діапазоні 1... 10 нм, 76% – використовує власні технології, 17% – працює на унікальному обладнанні (якому немає аналогів у світі), 34 % – мають угоди з виробничими підприємствами. У більшості випадків послуги ЦКП використовуються у сфері наукових досліджень і освіти, а також для виробництва наноматеріалів / компонентів електронної бази / техніки.

Блок «**Торгові організації**» представлений 8 компаніями (менше 2% від усіх організацій наноіндустрії Росії), які займаються закупівлею нанопродуктів з метою їх подальшого перепродажу (постачання), мали у 2009 р. обсяг продажів – 189 млн руб. Сьогодні ці організації є найменш динамічною групою із середньорічними темпами приросту продажів біля 5%. Такі цифри підтверджують початкову фазу становлення ринку, коли ще відсутні крупні спеціалізовані продавці продуктів (на відміну від США, Німеччини і Японії, де ринок наближається до стадії зростання) [12, с. 254].

До групи «**Інші організації**» відносяться організації інфраструктури: виробники / постачальники неспеціальних приладів і обладнання для наноін-

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

дустрії; підприємства, що надають інформаційні послуги; профільні асоціації, періодичні видання та інші організації, що напряму не пов'язані з розробкою, виробництвом і реалізацією нанопродуктів. Їх загальна кількість – 46, в основному це малі підприємства (73%). Дуже важливо, що в Росії почали з'являтися інжинірингові консалтингові центри, які сприяють комерціалізації нанорозробок, а також національні професійні асоціації в області наноіндустрії, зокрема: НАН (Національна асоціація наноіндустрії), НОР (Нанотехнологічне «общество» Росії), а також дві спеціалізовані асоціації в області наноалмазних матеріалів і скануючої зондової мікроскопії. Загальний обсяг продажів цієї групи у 2009 р. склав 4,5 млрд руб зі середньорічним приростом 6% [12, с. 257].

**Комерціалізація нанотехнологій у Росії** характеризується таким. Відповідно до проведеного у 2007 р. російськими експертами попереднього вивчення внутрішнього наноринку Росії, у *табл. 4.54* наведені основні продукти, що пропонуються [7, с. 155; 101].

*Таблиця 4.54*

**Попередня оцінка ринку нанопродуктів Росії у 2007 р.**

№ з/п	Готові продукти, наявні на ринку	Продукти, які будуть готові до виходу на ринок через 3 роки	Перспективні продукти і розробки
1	Нанодисперсні матеріали	Вуглецеві матеріали	Нанобіотехнологічні продукти
2	Покриття	Засоби постачання лікарських препаратів (нанокапсули)	Нанобіосистеми і пристрої
3	Кераміка	Мікросистемна техніка	–
4	Полімерні матеріали	Медичні діагностикуми	–
5	Каталізатори	–	–
6	Мембрани	–	–
7	Світлодіоди	–	–
8	Сенсори	–	–
9	Біочипи	–	–

Крім того, у 2009 р. було проведено оцінку ступеню комерціалізації нанотехнологій, що розробляються в Росії, результати якої подані у *табл. 4.55* [12, с. 258].

Станом на початок 2010 р. 12 організацій наноіндустрії Росії – найбільш віддалені від комерційного застосування, але мають результати досліджень, які можуть стати основою технологічного розвитку через 10 років. Перші результати фундаментальних досліджень і розробок цих проектів з'являться не раніше 2018 р., дослідні зразки – до 2020 р., а виробництво – після 2021 р. До

цих досліджень відносять: дослідження властивостей аморфних, наноструктурованих халькогенідних склообразних напівпровідників; атомне збирання масивів наноструктур; створення наноструктур на поверхні макромолекул ДНК тощо. Російські дослідники констатують відсутність істотного заділу за цими проектами, але при цьому вони є досить перспективними і економічно привабливими [12, с. 257].

Ще 116 організацій найбільш близькі до комерційного виходу на ринок. Вони мають дослідні зразки, комерційне виробництво яких можливе починаючи з 2010 р. Як наслідок, ці організації будуть формувати ринок нанопродуктів Росії у найближчі 3 роки (2011 – 2013 рр.). У *табл. 4.56* наведено приклади таких російських організацій та комерційні нанопродукти, які вони виробляють [12, с. 257 – 258].

У складі цих проектів, прийнятих до розгляду у «Роснано» і таких, що знаходяться на стадії стартапу, переважають проекти у таких секторах ринку нанопродуктів, як: «Енергетика» (16%), «Електроніка» (16%), «Медицина і біотехнології» (15%), «Обробна промисловість» (14%).

За оцінками, одержаними в ході дослідження [12], підприємства, що знаходяться на даній фазі комерціалізації, за умови повної реалізації наявного потенціалу, повинні забезпечити до 2015 р. не менше 20% завдань Програми 2015 за обсягами продажів.

Деякі перспективні ринкові ніші для розробок, що завершили у 2009 р. стадію розробки дослідних зразків та випробувань і вийшли у 2010 р. на початок стадії комерційного виробництва і виходу продукції на ринок, наведені у *табл. 4.57* [12, с. 260 – 261].

Станом на початок 2010 р. продукція 55 російських організацій наноіндустрії вже знаходиться на ринку. Обсяг їх продажів у 2009 р. склав 18,2 млрд руб, що характеризує фактичний комерційний потенціал російського ринку нанопродуктів. У *табл. 4.58* наведено приклади застосування нанотехнологій, представлених на російському ринку на початку 2010 р. [12, с. 263 – 264].

На основі даних по обсягам, структурі і темпам зростання продажів нанопродуктів, а також з урахуванням впливу кризи у *табл. 4.59* наведено порівняння рейтингів секторів російського і міжнародного ринків нанопродуктів за обсягами продажів у 2009 р. [12, с. 268].



Таблиця 4.55

## Фази комерціалізації нанотехнологій, що розробляються в Росії

№ з/п	Показник	Приховані фази комерціалізації					Комерційне входження на ринок		Насичення ринку	
		Науковий задія відсутній	Науково-дослідна робота	Дослідно-конструкторська робота	Дослідний зразок	Експериментальне виробництво	Мілка серія	Серійне виробництво	Велико-серійне виробництво	Масове виробництво
1	Фази розвитку технологій									
2	Реалізація наукових проєктів	Через 10 і більше років	На протязі 5–10 років	На протязі 3–5 років	Створено дослідні зразки			Створюється серійна продукція		
3	Кількість організації, од.	12	48	105	116		55			
4	Питома вага організації, %	2	9	21	23		11	-	-	-

Таблиця 4.56

**Деякі російські організації, розробки яких близькі до комерційного виходу на ринок станом на 2010 р.**

№з/п	Назва організації	Розробки, готові до комерційного використання
1	Інститут спектроскопії РАН	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ атомна нанолітографія;</li> <li>▪ створення джерел випромінювання на 13,5 нм для нанолітографії;</li> <li>▪ методи зондової діагностики наноструктур, матеріалів і пристроїв наноелектроніки;</li> <li>▪ скануюча оптична близькопольова мікроскопія наноструктур</li> </ul>
2	ТОВ «Академія біосенсорів»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ зондова мікроскопія;</li> <li>▪ створення біосенсорів;</li> <li>▪ нанчастинки і нанотрубки</li> </ul>
3	ТОВ НВК «Медбіофарм»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанобіотехнологія;</li> <li>▪ створення кремнезамінювача на основі полігемоглобину і розробка діагностичних систем на основі наночастинок (імунохроматографічних тестів для визначення інфаркту міокарду на основі білку, що зв'язує амінокислоти)</li> </ul>
4	ТОВ «Сибмеданаліт»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанодіагностика пухлинної патології;</li> <li>▪ нанотехнології у терапії пухлинних захворювань;</li> <li>▪ нанотехнології у біоінженерії тканин</li> </ul>
5	ФДУП НВП «Пульсар»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанотехнології в області електроніки</li> </ul>
6	ФДУП «ЦНИИХМ»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанотехнології для систем безпеки</li> </ul>
7	ТОВ НВФ «Дедал»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанотехнологія і наносклад для безрозбірного відновлення і захисту від зносу поверхонь деталей, що труться;</li> <li>▪ нанотехнологія «повітря замість палива», що дозволяє зменшувати питомі витрати палива на 20 – 40% і токсичність викиду у 2 рази у двигунах внутрішнього згорання</li> </ul>
8	ФДУП ДЕРЖНДІ генетики і селекції промислових мікрорганізмів	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ біосумісні матриці для регенеративної медицини;</li> <li>▪ наночастинки для доставки ліків</li> </ul>
9	ВАТ «Воронізьке спеціальне конструкторське бюро «РІКОН»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ енергозберігаючі елементи на наноструктурах;</li> <li>▪ вуглецеві наноматеріали тощо</li> </ul>

Таблиця 4.57

**Деякі російські організації, розробки яких вийшли у 2010 р. на початок стадії комерційного виробництва і виходу продукції на ринок**

№з/п	Назва організації	Розробки, готові до комерційного використання
1	2	3
1	НПК «Неотекпродакт»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ виробництво наноматеріалів (фулерено-вміщуюча сажа);</li> <li>▪ екстракт (суміш) фулеренів;</li> <li>▪ фулерен C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>;</li> <li>▪ фулеренова чернь</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.57

1	2	3
2	Російський новий університет	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ виробництво вуглецевих нанотрубок (ВНТ);</li> <li>▪ технології виробництва композитних матеріалів, модифікованих ВНТ;</li> <li>▪ технології виробництва клейових сумішей з додаванням ВНТ</li> </ul>
3	ЗАТ НВП «УТИМ»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ виробництво фулеренів та їх похідних;</li> <li>▪ проведення дослідження з практичного застосування фулеренів</li> </ul>
4	ФДУП РНЦ (прикладна хімія)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка високоефективних маловитратних технологій одержання наноматеріалів з відходів промисловості і природних продуктів;</li> <li>▪ створення ефективних технологій виробництва наповнювачів і модифікаторів, полімерів і композитів як спеціальних, так і широкого призначення, каталізаторів, компонентів ХІТ;</li> <li>▪ розробка шляхів класифікації (розділення) нанотрубок різних матеріалів при обробці надкритичною водою;</li> <li>▪ синтез наночастинок і наноструктур шляхом горіння металів у CO<sub>2</sub> під тиском і у СВС-процесах</li> </ul>
5	Науково-технічна асоціація електронного спецмашинобудування	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка і виготовлення спеціального технологічного і контрольновимірювального обладнання</li> </ul>
6	ТОВ «ЛМТ»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка і виробництво обчислювальних систем, що вбудовуються, і програмного забезпечення для нанотехнологічного обладнання і приладів (скануючі зондові мікроскопи);</li> <li>▪ проектування систем на кристалі;</li> <li>▪ розробка технології і інструментарію високорівневого проектування (HLS, SLD) систем, що вбудовуються, і систем на кристалі;</li> <li>▪ розробка і виробництво навчальних лабораторних комплексів на мікроконтролерах і ПЛІС</li> </ul>
7	ТОВ «САН»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка і виробництво чорнил на основі нанопігментів і нанодобавок для різних видів цифрового друку;</li> <li>▪ розробка і виробництво світлодіодних джерел ультрафіолетового випромінювання на основі наноструктур нітриду галію;</li> <li>▪ розробка і виробництво електропровідних чорнил на основі наночастинок металів для друку електронних плат і компонентів макроелектроніки</li> </ul>

Таблиця 4.58

#### Застосування нанотехнологій, представлених на російському ринку на початок 2010 р.

№з/п	Назва організації	Нанотехнології, наявні на ринку
1	2	3
1	ЗАТ «Надпровідникові нанотехнології»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ виготовлення нанорозмірних структур на основі надпровідникових плівок</li> </ul>
2	ЗАТ «Наукове і технологічне обладнання»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ молекулярно-пучкова епітаксія наногетероструктур для приладів нано-, мікро- і оптоелектроніки на основі напівпровідників АЗВ5 (арсеніди третьої групи і нітриди третьої групи)</li> </ul>

Продовження табл. 4.58

1	2	3
3	ФДУП «НВП Пульсар»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанотехнології в області електроніки</li> </ul>
4	ЗАТ «Лабораторія нізар»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нелінійні оптичні матеріали з наноструктурами для оптоелектроніки;</li> <li>▪ розробка нанотехнологічних продуктів під замовлення</li> </ul>
5	ТОВ «САН»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розробка і виробництво чорнил на основі нанопігментів і нанодобавок для різних видів цифрового друку;</li> <li>▪ розробка і виробництво світлодіодних джерел ультрафіолетового випромінювання на основі наноструктур нітриду галію;</li> <li>▪ розробка і виробництво електропровідних чорнил на основі наночастинок металів для друку електронних плат і компонентів макроелектроніки</li> </ul>
6	ВАТ «ЦНИТИ «Техно-маш»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ металеві частинки з функціоналізованою поверхнею;</li> <li>▪ гібридні наноструктури на основі наночастинок і функціональних фотохромних або фотолюмінісцентних молекул;</li> <li>▪ наночастинки на основі біомолекулярного фотохрому-бактеріородопсину;</li> <li>▪ наноконпозиційні матеріали фотоніки з використанням бактеріородопсину, синтетичних органічних і неорганічних з'єднань, що фотоперетворюють або/і світлоізолюють, а також гібридних наноструктур;</li> <li>▪ спектрально керовані матеріали, що формуються на основі наноконпозицій фотоніки, для систем зберігання і обробки інформації;</li> <li>▪ планарні багаточарові структури на основі наноконпозиційних матеріалів нанопотоніки, що включають у свій склад елементи інтегральної оптики;</li> <li>▪ метаматеріали із забороненою фотонною зоною на основі кубічних упаковок наносфер <math>\text{SiO}_2</math> із заповненням міжсферичного простору оптично активними напівпровідниковими елементами або магнітоактивними компонентами;</li> <li>▪ ліпосомальні препарати для косметики;</li> <li>▪ технології адаптивного прецизійного позиціонування ріжучого інструменту на основі оптичних вимірювань з нанометровою точністю у реальному режимі часу</li> </ul>
7	ЗАТ «НТ-МТД»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ метрологія;</li> <li>▪ скануюча зондова мікроскопія;</li> <li>▪ хімічний аналіз поверхні з розподіленням до 30нм;</li> <li>▪ нанотехнологічні комплекси для розробки елементів наноелектроніки</li> </ul>
8	ТОВ «Науково-виробнича фірма «Елан-практик»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для зменшення тертя високонавантажених компонентів авіадвигуна;</li> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для зменшення високотемпературної корозії турбінних лопаток;</li> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для зменшення зносу і корозії автокомпонентів;</li> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для заміни гальваніки на товарах масового виробництва;</li> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для зміцнення інструменту для металообробки;</li> <li>▪ наноконпозиційні PVD-покриття для мікроелектроніки</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.58

1	2	3
9	ВАТ «Федеральний дослідницький випробувальний центр машинобудування»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноматеріали і нанотехнології;</li> <li>▪ дослідження деталей транспортних засобів, виготовлених і оброблених по нанотехнологіям з використанням УСУ «Клімат»</li> </ul>
10	Інститут проблем хімічної фізики РАН	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноматеріали;</li> <li>▪ нанофотоніка</li> </ul>
11	ВАТ «НИИ «ЭЛЛА»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ нанопрошки;</li> <li>▪ наноструктуровані п'єзоматеріали;</li> <li>▪ п'єзокерамічні наоплівки;</li> <li>▪ вироби на основі п'єзокерамічних наноструктурованих матеріалів і плівок;</li> <li>▪ акустoeлектронні пристрої на основі наоплівок;</li> <li>▪ мікросистемна техніка</li> </ul>
12	ФДУП ЦНИИ КМ «Прометей»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноструктуровані метали і сплави (інтенсивна пластична деформація і наопрещіяція);</li> <li>▪ наномодифіковані полімерні матеріали (модифікація наночастинками);</li> <li>▪ магнітні і електромагнітні екрани ( кристалізація із аморфного стану);</li> <li>▪ наноструктуровані плівки і покриття (магнетронне і дугове напилення, плазмове, холодне газодинамічне напилення тощо)</li> </ul>
13	ТОВ «РТИ, кріомагнітні системи»	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наукові дослідження в області нанотехнології;</li> <li>▪ прилади для наукових досліджень в області нанотехнологій</li> </ul>

Таблиця 4.59

#### Порівняння рейтингів секторів російського і міжнародного ринків нанопродуктів за обсягами продажів у 2009 р.

№ з/п	Сектор ринку	Російський ринок		Міжнародний ринок	
		млрд руб.	рейтинг	млрд дол. США	рейтинг
1	Наноматеріали	6,1	1	10,1	1
2	Обробна промисловість	4,7	2	4,0	2
3	Медицина і біотехнології	2,9	3	2,6	4
4	Енергетика	2,1	4	3,9	3
5	Електроніка і ІКТ	1,8	5	0,5	6
6	Спеціальне обладнання і приладна база	0,1	6	2,6	5

З табл. 4.59 видно, що поточний рейтинг показує існуючу ситуацію, в якій домінують продажі наноматеріалів, що у 2009 р. склали 6,1 млрд руб (34% від загальних обсягів продажів). У табл. 4.60 наведено порівняння обсягів продажів за сегментами групи «Наноматеріали» на російському і міжнародному ринках нанопродуктів (див. табл. 3.19 даної роботи) [12, с. 64, 265].

Таблиця 4.60

**Порівняння рейтингів секторів російського і міжнародного ринків за сегментами групи «Наноматеріали» за обсягами продажів у 2009 р.**

№ з/п	Сектор ринку	Російський ринок			Міжнародний ринок		
		млрд руб.	частка ринку, %	рейтинг	млрд. дол. США	частка ринку, %	рейтинг
1	Тверді наночастинки	4,5	74	1	1792,7	18	2
2	Нанорозмірні тонкі плівки	0,8	13	2	6591,2	65	1
3	Наноструктурні монолітні матеріали	0,65	11	3	1391,6	14	3
4	Нанокompозити	0,1	1,6	4	336,3	3	4
5	Нанотрубки та інші полі наночастинки	0,05	0,4	5	0,95	<1	5
Усього		6,1	100	–		100	–

Крім того, з даних табл. 4.59 виходить, що застосування російських наноматеріалів і нанотехнологій в індустріальних секторах свідчить про лідерство обробної промисловості (4,7 млрд руб), яка практично на 60% випереджає за фактичними продажами застосування у медицині і біотехнологіях (2,9 млрд руб.) і на 45% – в енергетиці (2,1 млрд руб.).

Прогнозування продажів нанопродуктів є результатом узагальнення прогностичних оцінок обсягів продажів, наданих керівниками російських компаній і організацій, які приймали участь у дослідженні [12]. У табл. 4.61 наведено порівняння прогностичних рейтингів секторів російського і міжнародного ринків нанопродуктів за щорічними темпами приросту продажів у 2009 – 2013 рр. [12, с. 67, 269].

Таблиця 4.61

**Порівняння прогностичних рейтингів секторів російського і міжнародного ринків нанопродуктів за щорічними темпами зростання продажів у 2009 – 2013 рр.**

№ з/п	Сектор ринку	Російський ринок		Міжнародний ринок	
		%	рейтинг	%	рейтинг
1	2	3	4	5	6
1	Наноматеріали	42	5	10,6	3
2	Обробна промисловість	42	4	10,1	4
3	Медицина і біотехнології	45	3	12,1	2
4	Енергетика	44	2	9,2	5

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.61

1	2	3	4	5	6
5	Електроніка і ІКТ	47	1	26,2 (17,5*)	1
6	Спеціальне обладнання і приладна база	21	6	н.д	н.д

н.д. – немає даних;

\* – темп зростання сектора «Електроніка і ІКТ» без урахування сегменту «Нанотехнологічні інструменти для електроніки»

У відповідності з даними табл. 4.61 ринок нанопродуктів Росії буде зростати зі щорічними темпами приросту приблизно 40% у період 2009 – 2015 рр. Найбільший приріст буде в індустріальних секторах, в тому числі: в електроніці (47% на рік), медицині (45%) і енергетиці (45%). При цьому обробна промисловість лише на кілька пунктів відстає від лідерів: щорічний приріст у цьому секторі очікується у 42%. При цьому, світовий ринок приростає значно повільніше – лише на 17% на рік, але він у 40 разів більше.

Слід відмітити, що сегмент «наноматеріали» у зв'язку з великим обсягом продажів (див. табл. 4.59) відійшов за темпами приросту на 5-е місце (42% на рік), однак залишиться у майбутньому головним джерелом валового доходу.

Негативною тенденцією є збільшення відставання сектора забезпечення – «Спеціальне обладнання і приладна база» (приріст 21 % на рік) при мінімальному щорічному попиті у 1,8 млрд руб. Ситуація, що складається, ще більш загострюється проблемою імпорту обладнання і приладів (основну частину яких сьогодні складають електронні і зондові мікроскопи, а також дифракційні апарати). Імпортозаміщення по групі «Спецобладнання і приладна база» залишається однією з проблем, що зростає, для наноіндустрії Росії, не дивлячись на прогрес, який намітився у цій області по НДР і ДКР.

В умовах загострення конкуренції на світовому ринку і посилення боротьби за збут необхідно відмітити такі риси конкурентних позицій російських організацій (див. табл. 4.62) [12, с. 271 – 273].

У табл. 4.63 приведено результати досліджень думки російських експертів щодо конкурентних переваг організацій у секторах наноіндустрії Росії [12, с. 275].

Таблиця 4.62

**Основні риси конкурентних позицій російських організацій**

Слабкі сторони, що не дають змоги ефективно конкурувати		Не є слабкими сторонами, але й не мають конкурентоспроможність		Конкурентні переваги	
№ з/п	Основні риси	№ з/п	Основні риси	№ з/п	Основні риси
1	Незадовільне фінансове забезпечення	1	Виробничо-технологічна кооперація	1	Власні технології
2	Відсутність маркетингу (особливо на стадії оцінки потенційного ринку)	2	Виробничі кадри	2	Високий рівень наукових кадрів
3	Слабкий зв'язок із закордонними виробничими підприємствами			3	Власні патенти і ліцензії – інтелектуальна основа нанобізнесу
4	Нехватка спеціальних приладів				

Таблиця 4.63

**Конкурентні переваги російських організацій в секторах наноіндустрії**

№ з/п	Показники	Наноматеріали і технології їх одержання	Медицина і біотехнології	Енергетика	Обробна промисловість та інші застосування	Електроніка і ІКТ
1	2	3	4	5	6	7
1	Технології	83%	86%	93%	92%	90%
2	Кадри	79%	80%	80%	79%	82%
3	Власні патенти і ліцензії	65%	70%	80%	74%	69%
4	Виробничо-технологічна кооперація (кластери)	36%	48%	42%	38%	38%
5	Виробничі кадри	34%	41%	47%	45%	38%
6	Виробниче об'єднання	34%	38%	45%	45%	44%
7	Приладна база	29%	32%	38%	25%	23%
8	Зв'язок із закордонними виробничими організаціями і конкурентами	19%	24%	13%	18%	10%



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.63

1	2	3	4	5	6	7
9	Спеціалісти у галузі маркетингу	14%	21%	15%	17%	15%
10	Фінансове забезпечення	4%	5%	9%	7%	3%
Кількість відповідей		235	66	55	105	99

Впровадження на ринок наукоємної продукції передбачає подолання певної системи перешкод, а саме:

- бар'єрів, що гальмують розвиток усіх нових технологій, у тому числі й нанотехнологій;
- бар'єрів впровадження нанотехнологій;
- специфічних бар'єрів у секторах ринку нанопродуктів;
- проблем організації управління наноіндустрією.

Особливої уваги потребує розгляд *специфічних бар'єрів розвитку нанотехнологій у секторах ринку нанопродуктів в Росії* (як і в інших країнах СНД), основні характеристики яких наведені у табл. 4.64 [12, с. 285 – 286].

Таблиця 4.64

#### Специфічні бар'єри розвитку нанотехнологій в Росії у секторах ринку нанопродуктів

№з/п	Перешкода розвитку	Зміст проблемних питань
1	2	3
1	Відсутність постановки завдань з боку <i>промисловості</i>	Лабораторії часто працюють всліпу і не знають, які наноматеріали і з якими властивостями потрібні виробництву. В той же час, представники виробництва не поспішають назустріч розробникам, оскільки використання наноматеріалів потребує серйозної зміни застарілих технологій, а це, у свою чергу, потребує значних вкладень
2	Ризикованість виведення нанотехнологій <i>відразу у масове виробництво</i>	В умовах невизначеності складу споживачів і обсягів потреб дуже ризиковано виведення нанотехнологій відразу у масове виробництво з метою забезпечення прийнятної (конкурентоспроможної) ціни; Крім того, існує реальна проблема безпечного використання наноматеріалів, відсутність єдиних стандартів, а також технологій і обладнання для функціонування наноматеріалів
3	Можливість втрати установленості сектора <i>обробної промисловості</i> внаслідок використання наноматеріалів і нанотехнологій	В обробній промисловості – самому великому секторі, що споживає нанопродукти, – відсутні нові стандарти і нові технологічні норми в області нанотехнологій і нанопродуктів. Їх необхідно розробляти не для окремого підприємства, а для галузі в цілому – з метою нової якості кооперації (і створення кластерів). Перешкоджають цьому: відсутність досвіду зміни технологій (запуску нових виробництв); втрата російських технологій проєктування

Закінчення табл. 4.64

1	2	3
4	В енергетиці значна частина бар'єрів специфічна	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Випуск нанокаталізаторів, цеолітів, мембран стримується відносно малою глибиною нафтопереробки і застарілим обладнанням, що робить застосування нанопродуктів у цій сфері економічно неефективним;</li> <li>▪ Переважання низькотехнологічного сектора у структурі промисловості призводить до невисокого попиту на паливні елементи, батареї, суперконденсатори;</li> <li>▪ Для перетворювачів сонячної енергії, в умовах зниження виробництва електроенергії, немає споживача;</li> <li>▪ Впровадження світлодіодів пов'язано з необхідністю пошуку нової естетики освітлення і розвитку освітлювальних конструкцій нового класу</li> </ul>
5	У медицині відсутня оснащена необхідними приладами система надзору за якістю нанопродуктів масового застосування	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Відсутність системи надзору створює переваги для імпорتنних ліків і за умови низького рівня достатку основної частини населення перешкоджає впровадженню нанопродукції;</li> <li>▪ Масове надходження на ринок Росії закордонних препаратів робить не вигідним власне нановиробництво;</li> <li>▪ Застосування складних препаратів потребує глибоких і ретельних досліджень, створення відповідних лікарських методик і додаткових інструментів, оновлення великої кількості сполучених технологій, відновлення сегментів медичної промисловості, що сьогодні відсутні;</li> <li>▪ Для розробки фармацевтичних препаратів і лікарських сполук та їх тестування особливо актуальний перехід до нових методів проектування і верифікації ліків, які використовують моделювання взаємодії біологічних об'єктів з наноматеріалами</li> </ul>
6	Розвитку електроніки і ІКТ з використанням нанопродуктів перешкоджає необхідність зміни технологій і поколінь виробництв	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Виникає обмеження можливостей кремнієвих технологій, а перехід на кадмій потребує фундаментального вдосконалення технологічного комплексу;</li> <li>▪ Значний позитивний ефект від нанесення плівок і самозбирання магнітних матеріалів можливий не в рамках окремих нанопродуктів, а при спільному використанні технологій (наприклад, при створенні магнітних нанодатчиків на інтегральних схемах з оптичним каналом виведення інформації);</li> <li>▪ Одночасно спільне застосування технологій створює фундаментальні проблеми. Зокрема, важко сумістити технології виробництва аналогових і цифрових компонентів на кристали. Тому необхідна особлива, нова організація інтегрованих виробництв у формі наборів узгоджених технологічних рішень;</li> <li>▪ Наноелектроніка ініціює глибоку трансформацію обчислювальної техніки та її застосувань. В умовах роботи у нанодіпазоні виникає потреба в особливому характері зміни поколінь більшості виробництв. При цьому російський ринок надто замалий для забезпечення окупності масового переозброєння електронної промисловості</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

Крім того, у *табл. 4.65* в узагальненому вигляді викладено основні характеристики системних, зовнішніх і внутрішніх, а також організаційних бар'єрів для розвитку наноіндустрії в Росії [12, с. 283 – 284].

Разом з тим, необхідно підкреслити, що більшість із вказаних бар'єрів не є характерними тільки для Росії. Усі провідні країни стикаються із системою перешкод. І все ж таки їх переборення стимулюють встановлені фактори інвестиційної привабливості наноіндустрії, які пов'язані:

- з майбутнім вступом наноринку у фазу швидкого зростання (за оцінками експертів, починаючи з 2015 р.);
- одержанням технологічної ренти тими, хто опинився першим на ринку;
- лідерством на ринках, де вже неможливо бути конкурентним без впровадження нових технологій;
- подоланням енергетичних проблем;
- вирішенням ряду соціальних і екологічних проблем (лікуванням складних захворювань, принципово новими методами діагностики тощо);
- нестачею інших інвестиційних напрямів, які обіцяли б порівнюваний прибуток.

Саме криза підштовхнула бізнес до пошуку нових шляхів формування прибутку і зміни уявлення про ризики традиційних сфер бізнесу. Тому для усіх країн, що шукають нові перспективи свого розвитку, вкрай важливо стимулювати приватні компанії (корпорації машинобудування, паливно-енергетичного комплексу тощо, які є потенційними споживачами) знаходити перспективи свого бізнесу у сфері нанотехнологій.

#### 4.7. Світовий досвід створення нанотехнологічних мереж і кластерів

З аналізу досвіду провідних країн світу щодо розвитку нанотехнологічних досліджень і формування ринку нанопродуктів можна зробити певні узагальнення щодо принципів і необхідних основних елементів національних систем підтримки і ефективного розвитку даної галузі у країнах-лідерах.

Оскільки нанотехнології характеризуються складним міждисциплінарним характером досліджень, вимагають наявності досвідчених висококваліфікованих фахівців практично у всіх сферах економічного і соціального розвитку держав, а також пов'язані з необхідністю масштабних і витратних робіт, створенням унікального обладнання і його широким застосуванням, то можна сформулювати основні вимоги до управління вказаною сферою:

Таблиця 4.65

Основні характеристики системних, зовнішніх і організаційних бар'єрів для розвитку наноіндустрії в Росії

Системні бар'єри			Зовнішні і внутрішні бар'єри			Організаційні бар'єри		
№з/п	Перелік бар'єрів	Перешкоди	№з/п	Перелік бар'єрів	Перешкоди	№з/п	Перелік бар'єрів	Перешкоди
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Загальний демографічний дисбаланс (старіння населення)	Лягає важким тягарем на економіку країни в цілому і призводить до дисбалансу споживання. В результаті незабезпечені споживачі купують продукти низької цінності і тим самим підтримують застарілі технології. Середній клас вже придбає продукцію нових технологій, але його частка в Росії несуттєва, що не забезпечує споживчої підтримки технологічних інновацій	1	Зовнішні бар'єри	Пов'язані у значній мірі відставанням Росії на 8 – 10 років від основних конкурентів	1	На макро-рівні	Програмний (часовий) характер регулювання, складний механізм узгодження інтересів великої кількості учасників, подвійне підпорядковування (коли функції «нано» є додатковими до основних зобов'язань), дублювання функцій з мезорівнем
			2	Внутрішні бар'єри – необхідність перестройки застарілого виробництва	В першу чергу необхідно відновлення наукового приладобудування, вирішення проблем сертифікації і метрології, формування нових операційних зв'язків як у виробничій, так і у споживчій сферах. Існуючі застарілі технології не підтримують розвиток нових технологій. Необхідно комплексно модернізувати увесь ланцюжок розробки, виробництва, реалізації і споживання нанопродуктів			
2	Дефіцит науково-педагогічних кадрів у найбільш продуктивному віці 45 – 55 років	Дефіцит продуктивних кадрів, відсутність аналітичної платформи для створення інноваційної економіки і системи агентів інноваційного розвитку. «Роснано», яка є таким агентом, не в змозі вирішити задачу зміни технологій на 300 тис. російських підприємств	3	Внутрішні бар'єри – значні митні бар'єри	Це і проблеми державних гарантій для закордонних постачальників субсидій на сплату банківських процентів, митних процедур, які перешкоджають навіть незначному експорту російських нанопродуктів	2	На мезорівні	Складний механізм узгодження інтересів наукових / науково-освітніх центрів Росії, розмитість їхніх функцій і відповідальності відносно організації макрорівня, виробничо-технологічний (а не ринковий) підхід до розвитку нанотехнологій. Нечітко визначені рівні, межі і механізми

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.65

1	2	3	4	5	6	7	8	9
								функціонування національної нанотехнологічної мережі
3	Проблеми приватного інвестування у нові технології	Виключенням є «Роснано», але це тільки підтверджує правило. Держава усіма ресурсами, що є у наявності, просуває нанотехнологічні новації, але інвестори не сприймають їх ринкові переваги						
4	Повільне відновлення функцій освіти	Вкрай важливо відновити такі функції, як систему виховання розуму, узгодженості процесів зміни технологій і освітніх програм, навчання практичним знанням (лабораторний комплекс). Сьогодні преваляє у найкращому випадку нейтральне відношення до інновацій	4	Споживачі вважають небезпечними швидкі зміни у соціально-економічному середовищі тощо	Сприйняття зростаючої небезпеки для здоров'я, забруднення навколишнього середовища викликає нестатком інформації та інформування. Необхідно створення особливого професійного інформаційного середовища для цільових груп (підприємств, науковців, споживачів)	3	На мікрорівні	Відсутність механізму дієвої державної підтримки від суб'єктів макро- і мезорівнів, необхідної ринкової інфраструктури, стимулів для систематичного впровадження інновацій в Росії
5	Неринкові механізми, пов'язані з корупцією і приховуванням доходів	Сьогодні ризики від вкладень у нові технології вище, ніж ризики «мінімізації» податків, а доходи від корупції вище і більш поширені, ніж доходи від модернізації виробництва. Термін окупності більшості технологічних новацій більше терміну, на який обираються керівники, відповідальні за законодавчу і виконавчу дисципліну у цій області						

- Необхідність координації на державному рівні з метою ефективного використання наявних ресурсів і уникнення дублювання напрямів робіт;
- Проведення систематичних робіт з прогнозування основних напрямів розвитку нанотехнологій та визначення найбільш перспективних для умов кожної країни;
- Необхідність широкого діалогу з бізнесовим середовищем і суспільством щодо перспектив комерціалізації і наслідків використання нанопродуктів для здоров'я людей та навколишнього середовища;
- Формування розвинутої інфраструктури для комерціалізації результатів досліджень, прискорення трансферу технологій у виробництво, створення транспарентних умов для конкуренції і державно-приватного співробітництва.

Визначенням стратегічних напрямів розвитку і формуванням програм фундаментальних досліджень і прикладних перспективних розробок, як свідчить міжнародний досвід, сьогодні, в основному, займаються державні органи у тісній взаємодії з академічною і університетською наукою, бізнес-середовищем і громадськими професійними організаціями. У провідних країнах світу активно формуються національні нанотехнологічні мережі, які поєднують велику кількість установ, організацій і виробничих компаній, що проводять нанотехнологічні дослідження, виконують прикладні науково-технологічні розробки і доводять їх до стадії дослідних зразків, а також займаються комерціалізацією і освітою у сфері нанотехнологій відповідно до обраних і погоджених суспільством напрямів розвитку науки і технологій.

Наприклад, у США роль державного (адміністративного) координатора національної стратегії розвитку нанотехнологій виконує спеціально створений Національний нанотехнологічний координаційний офіс (NNCO) Підкомітету з науки нанорозмірних частинок, інжинірингу і технологіям (NSEI) Національної ради з науки і технологій. Офіс допомагає підкомітету у підготовці стратегічних планів, бюджетних документів і документів з оцінки програм, що реалізуються. Крім того, офіс здійснює постійні контакти з урядовими організаціями, вищими навчальними закладами, промисловими підприємствами, професійними спілками, міжнародними організаціями.

В ЄС, з урахуванням складного механізму міждержавних узгоджень між странами-членами ЄС, основним підрозділом Єврокомісії, що відповідальний за реалізацію політики в області нанотехнологій, є Генеральний директорат із досліджень (Research DG). В ЄС активно використовується практика «рамового планування» у розвитку стратегічно важливих технологій (у тому числі

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

нанотехнологій), що дозволяє сфокусувати ресурси по всьому діапазону технологій і надає усій системі управління наноіндустрією збалансований і цілісний характер.

Сьогодні аналізом і прогнозом перспектив розвитку нанотехнологій займаються багато консалтингових компаній і аналітичних агентств. Основна інформація щодо провідних агентств, які спеціалізуються на маркетингових дослідженнях ринку нанопродуктів, а також щодо державних і некомерційних організацій наведена у табл. 4.66 [12, с. 26 – 31].

Таблиця 4.66

##### Провідні компанії, які займаються дослідженням ринку нанопродуктів

№ з/п	Компанія	Профіль та основні області досліджень	Види звітів і досліджень з нанотематики
1	2	3	4
1	BCC, Inc. [103]	Провідна компанія – джерело маркетингових досліджень у різних областях, в тому числі: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ вдосконалені матеріали;</li> <li>▪ передові технології перевезень;</li> <li>▪ біотехнології;</li> <li>▪ хімікати;</li> <li>▪ енергія і ресурси;</li> <li>▪ машинобудування;</li> <li>▪ захист навколишнього середовища;</li> <li>▪ продукти харчування і напої;</li> <li>▪ технології виробництва паливних елементів і батарей;</li> <li>▪ охорона здоров'я;</li> <li>▪ інформаційні технології;</li> <li>▪ вимірювальні прилади і сенсори;</li> <li>▪ виробництво;</li> <li>▪ мембрани і технології сепарації;</li> <li>▪ нанотехнології;</li> <li>▪ виробництво напівпровідникових приладів;</li> <li>▪ лікарські препарати;</li> <li>▪ пластики;</li> <li>▪ захист і безпека;</li> </ul>	Щорічно пропонує більше 100 звітів, у тому числі у таких галузях, як: енергетика, паливні елементи, транспорт, охорона навколишнього середовища. Приводиться важлива статистична і аналітична інформація по ринках, застосуваннях, структурі промисловості, основним гравцям, часткам ринку, динаміці галузі, технологіям. Пріоритетними напрямками роботи компанії є: аналіз стану промисловості і складання ринкових прогнозів в області вдосконалених матеріалів, високотехнологічних систем і компонентів, нанотехнологій і найновіших методів обробки
2	Lux Research, Inc. [104]	Провідна компанія – джерело маркетингових досліджень у різних областях, в тому числі: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ сонячна енергія;</li> <li>▪ раціональне водокористування;</li> <li>▪ екологічні будівлі;</li> <li>▪ зберігання / розподіл енергії;</li> <li>▪ біонауки;</li> <li>▪ відновлювальна енергія;</li> </ul>	Щоквартальні звіти «State of Market Report», в яких міститься оцінка і прогноз ємності ринку, прогнози розвитку технологій, оцінка конкурентної ситуації, оцінка ризику, ринкові та інвестиційні стратегії, а також фінансовий аналіз. Спеціалісти складають індекс Lux Nanotech Index™, розроблений компанією на базі

Продовження табл. 4.66

1	2	3	4
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ наноматеріали;</li> <li>▪ друкована електроніка;</li> <li>▪ альтернативні види палива;</li> <li>▪ удосконалені композити</li> </ul>	26 нанотехнологічних фірм, цінні папери яких заявлені на біржі. Індекс оцінює динаміку курсу цінних паперів у сфері нанотехнологій
3	Research and Markets [105]	Провідна компанія – джерело маркетингових досліджень у різних областях	Режим доступу до звітів: [105]
4	Global Industry Analysts, Inc. [106]	Міжнародна організація – джерело стратегічних бізнес-маркетингових досліджень у різних галузях промисловості і науки	<p>Nanotools – A US Market Report</p> <p>Nanomagnetic – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanomaterials – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Carbon Nanotubes – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanocomposites – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanotechnology – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanophotonics – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanofilms – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanobiotechnology – A Global Strategic Business Report;</p> <p>Nanotechnology – A Global Industry Outlook</p>
5	The Center for Responsible Nanotechnology (CRN) [107]	Громадська некомерційна організація (створена у 2002 р.), яка проводить дослідження із впливу нанотехнологій на суспільство і навколишнє середовище. Особлива увага приділяється аспектам технічних інновацій і ризикам застосувань	Режим доступу до звітів: [107]
6	Azonanotechnology [108]	Невичерпний інформаційний ресурс – база знань з історії, реаліям і тенденціям у сфері розвитку і застосування нанотехнологій. Містить детальний класифікатор компаній, видів застосувань, публікацій, обладнання, галузей, матеріалів, постачальників, пов'язаних з нанотехнологіями	Режим доступу до звітів: [108]
7	Nanoforum [109]	Створена Єврокомісією у 2007 р. організація як результат виконання програми з розвитку нанотехнологій у рамках FP5. Мета створення – регулювання і освітлення діяльності основних європейських дослідних центрів та інститутів в області нанотехнологій. На сьогодні	Режим доступу до звітів: [109]



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.66

1	2	3	4
		є інформаційним і аналітичним ресурсом, що публікує результати міжнародних конференцій і заходів в області нанотехнологій, а також дайджести популярних звітів та інформацію з придбань	

На світовому ринку *мережі інфраструктурних організацій наноіндустрії*, що забезпечують виробництво (дослідницькі організації і університети, громадські і професійні спілки, спеціалізовані центри, інвестиційні і венчурні компанії, фонди тощо), створюються і поширюються прискореними темпами.

Основними елементами національних нанотехнологічних мереж провідних країн світу (в узагальненому вигляді) виступають *нанотехнологічні науково-освітні центри (ННОЦ)* як структурні підрозділи (або частина структурного підрозділу, або сукупність структурних підрозділів) наукової, науково-виробничої організації або університету, і які проводять дослідження з інноваційного (перш за все, нанотехнологічного) напрямку, підготовку кадрів вищої кваліфікації в області нанотехнологій, а також використовують результати наукових досліджень в освітньому процесі. Основні характеристики ННОЦ наведені у *табл. 4.67* [12, с. 133 – 138].

Розвинуті ННОЦ можуть бути також елементами інтегрованого комплексу:

- Горизонтальної мережі (що «стягує» ННОЦ навколо цільових програм) – консорціумів, децентралізованих національних мереж, партнерств, асоціацій;
- Вертикально інтегрованої структури (що «концентрує» ННОЦ навколо технологічного ланцюжка: дослідження – розробка – виробництво – реалізація – використання продукції) – нанопродуктових кластерів;
- Науково-виробничої оболонки – наукових парків, технопарків, бізнес-парків, бізнес-інкубаторів.

Стратегії розвитку наукової і освітньої діяльності в області нанотехнологій і наноматеріалів може бути описана п'ятьма структурними моделями: кластерною, мережевою, кластерно-мережевою, точковою і осередковою. Основні характеристики структурних моделей ННОЦ, які у значній мірі визначаються масштабами і характером спеціалізації ННОЦ, наведені у *табл. 4.68* [12, с. 139 – 147].

Таблиця 4.67

Основні характеристики нанотехнологічних науково-освітніх центрів (ННОЦ) у країнах світу

База утворення центрів		Структурні елементи		Передумови віднесення до ННОЦ		Підтримка		
Платформа формування	Складові	Тип структури	Основний елемент	3	4	5	6	7
1	<p>В рамках дослідницьких університетів:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Програми спільних досліджень з промисловістю, угоди з компаніями;</li> <li>Технопарки, бізнес-парки і наукові парки навколо університетів;</li> <li>Стартапи;</li> <li>Центри технологічного ліцензування;</li> <li>Бізнес-інкубатори і спеціалізовані служби підтримки фондів і компанії венчурного інвестування;</li> <li>Бізнес-школи, центри розвитку підприємництва, підрозділи інженерних і прикладних наук</li> </ul>	3	4	5	6	7		
		<p>1. Базова структура</p> <p>2. Наукова структура</p> <p>3. Освітня структура</p>	<p>Дослідницький університет (класичний, технічний) або дослідницький центр/лабораторія</p> <p>Дослідницькі лабораторії</p> <p>Факультети/кафедри з бакалаврськими, магістерськими, аспірантськими (PhD) програмами і спеціальними дослідницькими і навчальними циклами для школярів і викладачів</p>	<p>1. Одержання державного замовлення на виконання робіт в області нанотехнологій</p> <p>2. Одержання грантів на виконання досліджень</p> <p>3. Залучення додаткових коштів і фондів цільових програм корпорації</p> <p>4. Наявність спеціального обладнання</p> <p>5. Специалізація центру у певних областях нанотехнологій</p>	<p>1. Держави</p> <p>2. Місцевої влади</p>	<p>Стимулювання пріоритетних напрямів досліджень в області нанотехнологій</p> <p>Розміщення замовлень і фінансування</p> <p>Підтримка і допомога у забезпеченні умов роботи, соціальних умов, забезпечення обладнанням, патентування, ліцензування, передача центри, комерціалізація одержаних результатів, стимулювання публікацій</p>	<p>Матеріальна допомога, придбання технологій, система грантів, прийом спеціалістів на стажування</p>	
2	<p>В рамках великих корпорацій:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Корпоративні інноваційні університети;</li> </ul>	4. Бізнес-інфраструктура забезпечення	Підрозділи технологічного ліцензування, програми спільних досліджень з промисловістю, бізнес-школи, центри	6. Наявність у штаті одного вченого або групи спеціалістів, які мають видатні досягнення в області нанотехнологій	4. Бізнесу			

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.67

1	2	3	4	5	6	7
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Програми навчання використанню й комерціалізації інноваційних продуктів</li> </ul>		<p>підприємництва, венчурні фонди</p>	<p>7. Відповідність профілю університету нанотехнологічним напрямкам досліджень</p>	<p>5. Наукового співтовариства</p>	<p>Мережі і товариства, що забезпечують регулярний обмін науковими досягненнями</p>
3	<p>Оформлення прав власності і комерціалізація</p> <p><i>В рамках інноваційних програм розвитку:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Децентралізовані мережеві структури;</li> <li>Консорціуми, кластери;</li> <li>Дослідницькі центри</li> </ul>		<p>Стартапи, малі й середні фірми, крупні корпорації;</p> <p>Корпоративні програми навчання використанню і комерціалізації нанопродуктів, семінари і тренінги з технічної підтримки нанопродуктів (в рамках корпоративних університетів)</p>	<p>8. Наявність декількох факультетів (кафедр) в університеті для забезпечення міждисциплінарного характеру навчання</p>	<p>6. Внутрішньої структури ННОЦ</p>	<p>Надання можливості провідним вченим реалізовувати свої наукові ідеї у дослідженнях</p>
4	<p>Науково-дослідна платформа</p> <p><i>В рамках автономних дослідницьких закладів:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Дослідницькі університети;</li> <li>Науково-дослідні центри;</li> <li>Науково-дослідні лабораторії</li> </ul>	<p>5. Виробнича структура</p>				

Таблиця 4.68

Основні характеристики структурних моделей ННОЦу країнах світу

№ з/п	Тип моделі						
	Основні характеристики	Кластерна	Мережева	Кластерно-мережева	Точкова	Осередкова	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Опора	<ul style="list-style-type: none"> <li>Базові великі університети;</li> <li>Регіональна локалізація наукових і освітніх проектів та їх спеціалізація з виходом на виробництво</li> </ul>	Невеликі підрозділи великих університетів	<ul style="list-style-type: none"> <li>Кластерні утворення;</li> <li>Спільні лабораторні комплекси, спільна інфраструктура і спеціалізовані нанотехнологічні комплекси</li> </ul>	Спільнота національних наукових кадрів у галузі нанотехнологій	Мінімальна кількість національних спеціалістів	
2	Особливість моделі	Вертикальна інтеграція наукових розробок і освіти, що дозволяє оперувати термінами кінцевої продукції, яку потребує ринок	Формування національних ННОЦ як окремих і відносно уособлених великих підрозділів великих університетів	Це мережа кластерів з широким спектром спеціалізацій, що забезпечують вирішення масштабних задач нанотехнологічного розвитку	З одного боку, є початковим етапом розвитку нанотехнологій, а з іншого боку – достатньою формою для відносно невеликих країн		
3	Спеціалізація	Практично у всьому діапазоні досліджень за одним або декількома ключовими напрямками: наноелектроніка, медицина і нанобіотехнології, фармацевтика, енергетика або обробна промисловість	Більш вузька спеціалізація у порівнянні з кластерною моделлю, але при цьому їх, як правило, більше	Дає можливість розвивати нанотехнології по «всьому фронту» на базі ННОЦ з університетською матеріальною і лабораторною базою	Спеціалізовані дослідження із залученням тимчасових груп (в тому числі за участю аспірантів і студентів), що забезпечують спеціалізовані магістерські програми		
4	Ресурси	Концентрація по кожному з напрямів значних матеріальних, фінансових і інтелектуальних ресурсів	Надання університетами матеріальної інфраструктури і міжфакультетських програм	Концентрація ресурсів по кожному з напрямів, надання університетами матеріальної інфраструктури і міжфакультетських програм	Надання університетами матеріальної інфраструктури		

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.68

1	2	3	4	5	6	7
5	Розташування	Уся країна є системою, що складається з декількох відносно самостійних науково-освітніх кластерів, що сконцентровані у великих університетських містечках	У містах, де є великі університети	Уся країна є системою, яка складається з мережі кластерів з широким спектром спеціалізації	У містах, де є університети	
6	Країни (основні міста)	Німеччина: 4 кластера у містах Мюнхен, Хемніц, Карлсруе, Дрезден; КНР: у містах Пекін, Шанхай, Шеньян, Сянь, Ханджой, Гонконг	Японія (з елементами кластерної моделі) – 18 ННОЦ; Республіка Корея – 6 ННОЦ в Сеулі; Великобританія – 7 ННОЦ; Франція – 9 ННОЦ; Індія (з елементами осередкової моделі)	США – щонайменше 20 потужних ННОЦ (м.Олбані, Силіконова долина – кластери з потужними мережевими зв'язками та ін.); Ізраїль – мініаторні ННОЦ у містах Хайфа, Тель-Авів, Рамат-Ган, Реховот, Ієрусалим	Австрія; Фінляндія Нідерланди	
7	Система управління	Наукові і адміністративні органи	Декан (директор центру / зав. лабораторією)	Наукові і адміністративні органи, а також декан (директор центру / зав. лабораторією)	Декан (директор центру / зав. лабораторією)	
8	Кількість дослідників	150 – 250 осіб і більше	150 – 250 осіб і більше	200 – 300 осіб і більше у США; – 40 осіб в Ізраїлі	1 – 3 особи 10 – 15 осіб	
9	Виробнича діяльність	Винесена в основному у великі корпорації, що взаємодіють з ННОЦ в рамках заказів і контрактів	Сконцентрована безпосередньо в ННОЦ	Проводиться в ННОЦ та у інших складових мережі	Нечисленні спільні проекти	
10	Навчальні програми	Як доповнення до основних масштабних і різноманітних дослідницьких проектів	Багатопланова освітня діяльність із залученням бізнес-школ та підприємницьких структур	Представлені усі рівні освіти і велика кількість спеціальних програм (наприклад, для дошкільного і шкільного навчання)	Підготовка і реалізація магістерських програм	
11	Фінансування	Змішане фінансування з домінуванням державних джерел	Фінансування переважно із державних коштів	Державне фінансування на стадії формування ННОЦ, а корпоративне – на стадіях розвитку	Фінансування здійснюється переважно по лінії державних і міждержавних проектів	

Найбільш сучасною є кластерно-мережева модель, яка становить собою синергію двох моделей – кластерної і мережевої. З *одного боку*, вона представлена кластерними утвореннями з повним циклом НДДКР, а також університетською освітою і циклом впровадження цілої гами нанопродуктів, а з *іншого* – доповнюється можливостями спільних лабораторних комплексів, спільною інфраструктурою і спеціалізованими нанотехнологічними комплексами, орієнтованими на вирішення вузьких прикладних задач. Тобто вказана модель є мережею кластерів з широким спектром спеціалізацій, як і забезпечують вирішення масштабних задач нанотехнологічного розвитку. Використання «кластерно-мережевої» моделі надає можливість розвивати нанотехнології по «всьому фронту» на базі ННОЦ з університетською матеріальною і лабораторною базою.

Фінансування ННОЦ здійснюється таким чином, щоб максимально задіяти усі можливі джерела фінансування. У *табл. 4.69* наведені основні джерела, напрями фінансування і планування ННОЦ країн-лідерів [12, с. 152].

Таблиця 4.69

**Основні джерела, напрями фінансування і планування ННОЦ**

№ з/п	Джерела фінансування		Напрями фінансування	Учасники планування
	Тип	Механізм		
1	Державні	Через національну програму наноініціативи	Фінансування досліджень в області нанотехнологій	Базовий університет
2	Фондові	Через різні фонди, зокрема, науковий фонд	Фінансування освіти в області нанотехнологій	Генеральний спонсор: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ у США – NSF;</li> <li>▪ в ЄС – фонд FP7;</li> <li>▪ у Японії - програми Ради з політики в області науки і технологій</li> </ul>
3	Територіальні	Через програми розвитку нанотехнологій штатів, регіонів	Фінансова підтримка викладачів на час навчання (стипендії для викладачів)	
4	Венчурні	Через венчурні фонди	Фінансова підтримка студентів (стипендії)	
5	Спонсорські	Через окремих спонсорів (фізичних і юридичних осіб)	Фінансування процесу трансферу нанотехнологій з лабораторій на ринок	Університети або дослідницькі центри/лабораторії
6	Асоціативні	Через університетські асоціації і об'єднання	Фінансування стартапів	
7	Грантові	Через персональні гранти на дослідження		
8	Корпоративні	Через договори з приватними замовниками		

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

У *табл. 4.70* наведені джерела фінансування ННОЦ за країнами-лідерами [12, с.154]. Важливо відмітити, що державна участь у фінансуванні ННОЦ залишається домінантною – не нижче 65%, в тому числі у лідера ринку – США. Великі обсяги державних інвестицій припадають на великі / відомі інтегровані науково-освітні комплекси, які організовані за «кластерним» і «кластерно-мережовим» принципами.

На основі аналізу 100 найбільших і найавторитетніших у світі ННОЦ було сформовано рейтинги країн світу відповідно до основної компетенції центрів, які працюють в цих країнах. Так, у *табл. 4.71* наведено рейтинг у галузі наноматеріалів, в якій працюють ННОЦ, а у *табл. 4.72* – рейтинг сфер діяльності (секторів ринку нанопродуктів) для функціонуючих ННОЦ у країнах-лідерах [12, с. 160 – 161].

Профіль інтелектуального продукту досліджень ННОЦ у країнах-лідерах наведено у *табл. 4.73* [12, с.161 – 163].

Конкурентні переваги провідних закордонних ННОЦ були розглянуті в областях: наукові дослідження, освіта, технологічна база і комерціалізація [12, с.173 – 185]. Узагальнення вказаної інформації дозволило сформулювати елементи організації і управління, які властиві конкурентоспроможним закордонним ННОЦ (*табл. 4.74*).

Найбільш цікавий досвід організації роботи ННОЦ країн-лідерів в області нанотехнологій, який надає конкурентні переваги та підвищує ефективність системи управління (регулювання діяльності), можна узагальнити у *табл. 4.75* [12, с.186 – 187].

У провідних країнах світу серед *спеціалізованих науково-дослідних організацій* (крім R&D-структур концернів) значну роль відіграють урядові агентства, програми, консорціуми, університети, а також збільшується кількість професійних громадських організацій. Сьогодні можна виділити 4 авторитетних міжнародних організацій, а також низку відомих професійних асоціацій у країнах-технологічних лідерах: 4 – у США, 4 – в ЄС, 1 – в Японії, 1 – у КНР, 1 – у Республіці Корея і 2 – в Австралії.

В останній час почали активізуватися великі асоціації, компетенція яких розповсюджується на ризики і безпечне використання наноматеріалів (Центр надійних технологій США), державно-приватне неприбуткове партнерство для набуття переваги у напівпровідниковій промисловості (SEMATECH, США), ITRS – міжнародна організація, що сприяє інвестиціям у напівпровідникову наногалузь, ENA – європейська асоціація нанобізнесу тощо. Діяльність професійних асоціацій підсилюється системою інвестиційних і венчурних компаній.

Таблиця 4.70

Питома вага джерел фінансування ННОЦ країн-лідерів, %

№ з/п	Джерела	США	Країни Європи						Країни Азії			
			Німеччина	Велико-британія	Франція	Нідерланди	Австрія / Фінляндія	Ізраїль	Японія	КНР	Республіка Корея	Індія
I. Зовнішні												
		90	90	35	80	90	65	90	90	80	97	
1	Державні	65	80	10	70	80	20	80	75	40	80	
2	Корпоративні	20	10	25	10	10	30	10	10	35	10	
3	Кредитні (в т.ч. венчурні)	5 (венч.)	н/д	н/д	н/д	н/д	10	н/д	5 (венч.)	5 (венч.)	5 (венч.)	
4	Приватні накопичення фізичних осіб	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	
II. Внутрішні												
		10	10	65	20	10	35	10	10	20	3	



4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Таблиця 4.71

**Рейтинг ННОЦ за країнами у галузі наноматеріалів**

Рейтинг країни	Сегменти ринку наноматеріалів, у яких працюють ННОЦ				
	Тонкі плівки	Тверді наночастинки	Наноструктурні монолітні матеріали	Нанокompозити	Нанотрубки та інші полі наночастинки
1	США	США	США	США	США
2	Німеччина	Республіка Корея	Республіка Корея	Німеччина	Республіка Корея
3	Ізраїль	Японія	Японія	Республіка Корея	Німеччина
4	Індія	Німеччина		Франція	Ізраїль
5	Франція	Франція		Великобританія	Індія
6		Ізраїль			
7		Великобританія			

Таблиця 4.72

**Рейтинг ННОЦ за країнами у секторах ринку нанопродуктів**

Рейтинг країни	Сектори ринку нанопродуктів, у яких працюють ННОЦ			
	Медицина і біотехнології	Електроніка і ІКТ	Енергетика	Обробна промисловість
1	США	США	Республіка Корея	США
2	Республіка Корея	Республіка Корея	США	Великобританія
3	Німеччина	Японія	Німеччина	Німеччина
4	Великобританія	Німеччина	Великобританія	
5	КНР	Великобританія	КНР	
6	Ізраїль	Франція	Японія	
7	Японія	КНР		
8	Нідерланди			

Таблиця 4.73

**Профіль інтелектуального продукту досліджень ННОЦ у країнах-лідерах**

№ з/п	Країна	Профіль інтелектуального продукту
1	2	3
1	США	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Спостереження/вимірювання/маніпулювання біомолекулами;</li> <li>▪ кремнієва і вуглецева наноелектроніка, наномагнетизм, нанофотоніка (Корнельські центри);</li> <li>▪ нанорозмірні матеріали/електронні прилади;</li> <li>▪ гіпотермічна терапія раку, біосенсори, імплантати (Масачусетські центри);</li> <li>▪ плазміні скануючі тунельні мікроскопи;</li> <li>▪ нанорозмірна обробка зображень, нанорозмірна томографія;</li> </ul>

Продовження табл. 4.73

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Фотоелектрохімічне перетворення енергії, запам'ятовуючі пристрої фазового переходу (Стенфордські центри);</li> <li>▪ системи очищення енергії, безпровідні системи, зондування;</li> <li>▪ нанодатчики і силові приводи, біоімаджинг, полімерні п'єзоелектричні наногенератори;</li> <li>▪ плазмонна нанолітографія, твердотільні наоплівкові сонячні елементи, електрохімічні сонячні батареї (центри університету Берклі) тощо</li> </ul>
2	Німеччина	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Напівпровідникові і композитні наноматеріали, оптичні властивості наносистем, біонаноматеріали, наноматеріали в енергетиці (центри університетів у Мюнхені);</li> <li>▪ наноелектроніка, нанобіологія і наноенергетика (центри університету у Хемніці);</li> <li>▪ оптичні волокна, наноінструменти (центр в університеті Карлуа);</li> <li>▪ паливні елементи, нанокомпозити, атомно-шарове осадження (центри у Технічному університеті Дрездену) тощо</li> </ul>
3	Велико-британія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанобіологія і наномедицина (центр Кембриджського університету);</li> <li>▪ пентиди, що самозбираються, нанотоксикологія, біомембрани (центр університету Лідсу);</li> <li>▪ молекулярно-пучкова епітаксія, іонні/електронні колони, нанометрологія (спільний центр Університетського та Імперіал коледжів Лондону);</li> <li>▪ наноманіпуляція і багатомірне картування наноматеріалів (лабораторія Шефільдського університету) тощо</li> </ul>
4	Франція	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанохімія (центр Вищої Паризької центральної школи);</li> <li>▪ нанодатчики-уловлювачі, наноніс (кафедра у Центральній школі електроніки Парижу);</li> <li>▪ пристрої, що потребують велику потужність, особливу безпеку, малий об'єм, бездротове з'єднання (департамент електронних систем Вищої інженерної школи Парижу);</li> <li>▪ передача наночастинок у навколишнє середовище, нанотоксичність (центр Університету ім. П. і М. Кюрі) тощо</li> </ul>
5	Ізраїль	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Діагностика раку, акумулятори для електромобілів, наномікрофони підвищеної чутливості (центри університету Бар-Ілану);</li> <li>▪ полімерні нанокомпозити, біосенсори, карбонові нанотрубки (центр університету ім. Бен Гуріона);</li> <li>▪ сонячні батареї, сенсори, очищення води, попередження корозії (центр університету Хебрю);</li> <li>▪ біочипи, магнітооптична спектроскопія («Техніон» Технічного інституту Хайфи);</li> <li>▪ карбонові нанотрубки, нановолокна, нанокапсули (центр інституту Вейсмана у Реховоті) тощо</li> </ul>
6	Японія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Фотоіндуковані частинки, наноструктури з металевих ацетиленідів, органічні нанодіоди (Інститут молекулярної науки Національного інституту природничих наук);</li> <li>▪ діоди, що випромінюють світло, на напівпровідникових алмазах, нанотермометри з використанням нанотрубок, супереластична нанокераміка, штучна кісна тканина, надпровідні ленти (Національний інститут матеріалознавства);</li> <li>▪ напівпровідникові фотонні пристрої, матеріали з квантовим ефектом, епітаксальне вирощування напівпровідників (центр Токійського технологічного інституту);</li> <li>▪ мережеві фотонні і електронні пристрої (центр Токійського університету);</li> <li>▪ наноскло, водневі паливні чарунки, фотокаталізатори (центр університету Кіото) тощо</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.73

1	2	3
7	КНР	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Карбонові нанотрубки і нанопрілади, наноскладні матеріали (центр Пекінського університету);</li> <li>▪ наноелектрохімія, поверхневі і внутрішні структури наномасштабів (Інститут хімії КАН);</li> <li>▪ сучасні конфігурації комунікаційних систем, фотоелектрони, нанокристали пам'яті (Інститут мікроелектроніки);</li> <li>▪ карбонові нанотрубки і нанопрілади, наномагнетизм (Інститут фізики) тощо</li> </ul>
8	Республіка Корея	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Сенсорні платформи, енергетичні пристрої на нанофотонних кристалах, низькотемпературні і ширококутові мікропроцесорні системи для мікроскопів, нанопроволоки, надпровідники (центри Сеульського національного університету);</li> <li>▪ біодатчики і біочипи (центр університету Соганг);</li> <li>▪ малорозмірні структуровані в мережі наногібриди, нано- і мезоматеріали у каталізаторах (центр Корейського інституту науки і технологій) тощо</li> </ul>
9	Індія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанотехнології для дослідження клітин і раку, архітектура хроматину і регуляція генів (Національний центр вивчення клітинних структур);</li> <li>▪ транспортування клітин, нейрогенетика, патогенез папіломи вірусів, імунний гомеостаз (Бангалорський центр з біологічних наук) тощо</li> </ul>

Таблиця 4.74

#### Елементи організації і управління, які властиві конкурентоспроможним закордонним ННОЦ

№ з/п	Структурні пріоритети	№ з/п	Пріоритети фінансування	№ з/п	Пріоритети розвитку науково-дослідного і освітнього процесу
1	2	3	4	5	6
1	Механізм концентрації ресурсів на проривних технологічних напрямках	1	Використання механізму двохетапного фінансування: перший етап – пріоритет державних джерел; другий етап - корпоративних	1	Створення розгалуженої системи лабораторій і мереж обміну інформацією, результатами досліджень, обладнанням
2	Формування науково-освітніх кластерів на основі розвиненої внутрішньої кооперації факультетів і центрів з елементами дослідного виробництва і інфраструктури для комерціалізації	2	На всіх етапах – використання системи перехресного фінансування з різних джерел: через національні програми, програми міністерств/відомств і фонди регіональної влади, через механізм державно-приватного партнерства, професійні асоціації, корпоративні джерела, ресурси уповноважених інвестиційних банків, венчурні фонди, приватників	2	Інтеграція дослідницької, освітньої і реєструючої діяльності в ННОЦ при чіткому розділенні функцій відповідних підрозділів
3	Ініціація цільових програм щодо створення науково-технологічних альянсів, які вирішують програмні завдання розвитку нанотехнологій			3	Підтримка балансу науково-дослідних і освітніх програм, що дозволяє здійснювати безперервний процес розвитку нанотехнологій та їх комерціалізації

Закінчення табл. 4.74

1	2	3	4	5	6
4	Розвиток партнерств з комерційними організаціями шляхом створення стартапів і спільних компаній	3	Фінансова підтримка фундаментальних досліджень з фокусуванням на прикладні НДДКР, які мають потенціал комерціалізації	4	Наявність освітніх програм для дітей дошкільного і шкільного віку, бакалаврів, магістрів, аспірантів, викладачів (в тому числі «літні школи»)
5	Активне міжнародне співробітництво з профільними навчальними і науковими центрами	4	Фінансова підтримка наукових керівників і студентів/дослідників під час реалізації науково-практичних проєктів	5	Формування спеціалізованих нанотехнологічних програм навчання. Впровадження програм технологічного менеджменту і маркетингу інновацій. Фінансова підтримка навчання
				6	Створення умов для участі студентів і випускників у нанотехнологічних дослідженнях, а також можливості займатись профільною підприємницькою діяльністю

Таблиця 4.75

**Конкурентні переваги і елементи ефективної системи управління закордонних ННОЦ**

№ з/п	Країна	Корисний досвід роботи ННОЦ, що дозволяє реалізувати конкурентні переваги і створити ефективну систему управління
1	2	3
1	США	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Досвід створення і роботи підрозділів, що реєструють інтелектуальну власність в рамках ННОЦ, а також займаються комерціалізацією;</li> <li>▪ взаємодія лабораторій ННОЦ з комерційними компаніями і науково-дослідними лабораторіями з метою комерціалізації результатів інтелектуальної діяльності;</li> <li>▪ досвід вибору і підтримки досліджень, пов'язаних з проблемами національної безпеки;</li> <li>▪ система перехресного (змішаного) фінансування, фінансова підтримка ННОЦ регіональною владою (штатами);</li> <li>▪ міждисциплінарні напрями навчання, дистанційного навчання, навчання дітей дошкільного віку і школярів, літні програми, програми менеджменту в області нанотехнологій (технологічного менеджменту) і маркетингу, популяризація нанотехнологій за допомогою науково-популярних семінарів, екскурсій, презентацій;</li> <li>▪ практика здачі лабораторій для досліджень в оренду комерційному сектору</li> </ul>
2	Німеччина	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Досвід німецьких нанотехнологічних кластерів;</li> <li>▪ фінансування з боку німецьких земель;</li> <li>▪ організація магістерських і аспірантських програм</li> </ul>
3	Великобританія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Механізм зовнішнього і внутрішнього партнерства навчальних підрозділів і вищих навчальних закладів;</li> <li>▪ Формування наномереж за допомогою цільових програм фінансування;</li> </ul>

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.75

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ механізм партнерств з промисловими компаніями, школами бізнесу;</li> <li>▪ створення у структурі ННОЦ впроваджувальних фірм;</li> <li>▪ прагматизм і механізм орієнтації на комерційно ефективні результати</li> </ul>
4	Ізраїль	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Міждисциплінарні дослідницькі кластери;</li> <li>▪ двохетапне фінансування (державна, приватні компанії);</li> <li>▪ збалансована стратегія розвитку ННОЦ у регіональному аспекті;</li> <li>▪ організація участі осіб, що навчаються, у конкретних дослідницьких проектах;</li> <li>▪ участь приватних осіб у фінансуванні нанопроєктів;</li> <li>▪ продаж бізнес-проектів компаніям США</li> </ul>
5	Японія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Використання японської системи підготовки спеціалістів в області наноматеріалів;</li> <li>▪ застосування технологій постійних операційних покращень процесу досліджень і навчання у нанотехнологічних центрах</li> </ul>
6	КНР	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Використання досвіду формування інноваційної системи, особливо в частині державного регулювання роботи ННОЦ;</li> <li>▪ взаємодія з ННОЦ КНР на основі принципу доповнення – розвинена фундаментальна наука зарубіжних країн у сполученні з прикладною наукою КНР</li> </ul>
7	Республіка Корея	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Стратегії «вибору і концентрації» (вибору ключових нанотехнологічних університетів і концентрації на їх розвитку);</li> <li>▪ досвід організації ННОЦ на профільній кафедрі і «сімейних» компаній в області нанотехнологій;</li> <li>▪ використання корейського досвіду онлайн-навчання з використанням відеокурсів по нанотехнологіям</li> </ul>
8	Індія	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Організація «точок зростання»;</li> <li>▪ вирішення проблеми комерціалізації результатів інтелектуальної діяльності в області нанотехнологій;</li> <li>▪ продаж бізнес-проектів (планів) компаніям США</li> </ul>

Сьогодні в інтерактивній базі даних нанотехнологічних асоціацій і громадських організацій зареєстровано більше 300 різних організацій, які сприяють розвитку наноіндустрії, трансферу технологій, обміну досвідом між вченими, а також займаються інформуванням громадськості про нові технології та їх вплив на навколишнє середовище і здоров'я людей [110]. У табл. 4.76 наведено профіль і основні напрямки роботи найбільш відомих у світі подібних організацій [12, с.226 – 229].

Сучасні тенденції розвитку *венчурного капіталу* у сфері нанотехнологій свідчать про скорочення обсягів даного виду інвестицій у світових центрах наноіндустрії за рахунок підвищення ролі прямих корпоративних інвестицій, які здійснюються на стадії промислового освоєння раніш експериментально апробованих досліджень.

Таблиця 4.76

**Основні нанотехнологічні асоціації і громадські професійні організації у провідних країнах світу**

№ з/п	Країна	Назва організації	Профіль	Основні напрями
1	2	3	4	5
1	Міжнародні	Міжнародна асоціація нанотехнологій (International Association of Nanotechnology) [111]	Некомерційна професійна асоціація, ключовими цілями якої є: проведення спільних досліджень; ділове співробітництво, організація освітніх програм у сфері нанотехнологій і розповсюдження чистих технологій на користь суспільству	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Наноматеріали;</li> <li>▪ наноелектроніка;</li> <li>▪ наномедицина</li> </ul>
		Асоціація галузей нанотехнологій (Nanotechnology Industries Association) [112]	Некомерційна асоціація (2005 р.), членами якої є компанії різних сфер діяльності: медичної, хімічної, автомобільної і обробної галузей. Мета – створення умов для комерціалізації нанотехнологій, їх розвитку і просунення, незалежно від галузевої спеціалізації	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Аналіз розвитку і перспектив застосування існуючих розробок;</li> <li>▪ розробка номенклатурних систем;</li> <li>▪ визначення загроз, можливостей і рекомендацій для галузей;</li> <li>▪ формування політики безпечного розвитку</li> </ul>
		Міжнародна спілка в області науки, комп'ютеризації і інжинірингу (International Society of Nanoscale Science, Computation and Engineering) [113]	Спілка заснована у 2004 р. з метою вивчення можливостей управління розташуванням атомів у речовині, розробки способів і методів забезпечення контролю, розвитку маніпулювання на молекулярному рівні та його використання в інжинірингу	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Поєднання сфери обчислень на нанорівні з нанонаукою і інжинірингом;</li> <li>▪ розширення наукових горизонтів у цій сфері;</li> <li>▪ забезпечення роботи наукового форуму для обговорення і визнання відкриттів у цій області</li> </ul>
		Інститут нанотехнологій (Institute of Nanotechnologies) [114]	Некомерційна організація (1997 р.), створена з метою формування інформаційного і освітнього центру в сфері нанотехнологій. Сьогодні – один з найбільших світових інформаційних центрів з нанотехнологій	Освіта в області нанотехнологій
2	США	Американська асоціація нанотехнологій (American Association of Nanotechnology, AANT)	Некомерційна організація, що входить до Міжнародної асоціації нанотехнологій	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Трансфер технологій;</li> <li>▪ комунікації між вченими</li> </ul>

4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Продовження табл. 4.76

1	2	3	4	5
		Американська академія наномедицини (American Academy of Nanomedicine) [115]	Професійна академічна і медична спілка, основна мета якої – розвиток досліджень в області наномедицини	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження в області нанотехнологій, біохімії, інжинірингу, молекулярної біології і медицини;</li> <li>▪ організація професійного форуму і обговорення результатів дослідження;</li> <li>▪ освітні програми</li> </ul>
		Альянс нанобізнесу (The NanoBusiness Alliance) [116]	Професійна некомерційна організація, основна мета якої – комерціалізація нанорозробок, забезпечення допомоги організаціям з їх впровадження	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Взаємодія з органами влади в області політичних аспектів розвитку наноіндустрії;</li> <li>▪ забезпечення професійної бізнес-площадки (конференції) для обміну досвідом, презентації розробок та їх комерціалізації - Активна взаємодія зі ЗМІ щодо формування позитивного бренду наноіндустрії</li> </ul>
		Інститут науки і технологій (Nano Science and Technology Institute, NSTI) [117]	Створений у 1997 р. як результат об'єднання декількох професійних наукових товариств з метою просування нанотехнологій за рахунок інтеграції освіти, розвитку технологій і бізнесу	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Освітні програми;</li> <li>▪ організація професійної площадки (конференції) Nanotech</li> </ul>
3	ЄС	Європейська нанотехнологічна торгова асоціація (European Nanotechnology Trade Association, ENTA) [118]	Створена з метою формування єдиного простору для підтримки зв'язку між представниками бізнес-структур, уряду і вченими	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Надання інформації щодо розвитку нанотехнологій для суспільства;</li> <li>▪ підтримка взаємодії між дослідниками і бізнес-колами</li> </ul>
		Європейська спілка інжинірингу високої точності і нанотехнологій (European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, EUSPEN) [119]	Заснована у 1999 р. з метою трансферу технологій, об'єднання зусиль дослідників і бізнесу для їх комерціалізації	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Дослідження і розвиток нанотехнологій;</li> <li>▪ освітні програми</li> </ul>
		Ірландська асоціація нанотехнологій (Irish Nanotechnology Association) [120]	Заснована у 2002 р. з метою сприяння розвитку і застосуванню нанотехнологій у галузях ірландської економіки	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Інформаційне забезпечення;</li> <li>▪ трансфер технологій</li> </ul>

Закінчення табл. 4.76

1	2	3	4	5
		Спілка нанонаук Ервіна Шредингера (Erwin Schrodinger Society for Nanosciences) [121]	Заснована у 1986 р. і поєднує дослідників, спонсорів та інших активістів Австрії, які активно залучені у розвиток знань і технологій в області нанонауки	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розвиток нових наноматеріалів;</li> <li>створення засобів для роботи на нанорівні</li> </ul>
4	Японія	Ініціатива створення нанотехнологічного бізнесу (Nanotechnology Business Creation Initiative) [122]	Поєднує дослідників, спонсорів та інших активістів Японії	Обмін інформацією в області нанотехнологій між компаніями, підприємцями, дослідниками і інвесторами
5	КНР	Національний центр нанонауки і технологій (National Center for Nanoscience and Technology) [123]	Некомерційна організація, створена у 2003 р. за участю Китайської академії наук і Міністерства освіти з метою створити науково-дослідну базу нанотехнологій, лабораторії якої обладнані за останнім словом техніки і відкриті як для національних, так і для закордонних дослідників	Фундаментальні і прикладні дослідження в області нанотехнологій
6	Республіка Корея	Асоціація дослідження нанотехнологій (Nano Technology Research Association, NTRA) [124]	Створена у 2001 р. з метою підвищення ефективності державної політики в області нанотехнологій	<ul style="list-style-type: none"> <li>Одержання синергетичного ефекту використання нанотехнологій у різних сферах;</li> <li>забезпечення взаємозв'язку бізнесу і дослідників;</li> <li>створення інфраструктури</li> </ul>
7	Австралія	Нанотехнології Австралії (Nanotechnology Australia) [125]	Поєднує дослідників, спонсорів та інших активістів Австралії	Інформаційне забезпечення і просування освітніх програм
		Австралійська дослідницький комітет – Нанотехнологічна спілка (Australian Research Council Nanotechnology Network, ARCNN) [126]	Поєднує дослідників, спонсорів та інших активістів Австралії	<ul style="list-style-type: none"> <li>Визначення нових сфер досліджень;</li> <li>обговорення і визначення потреб в інфраструктурі;</li> <li>об'єднання активності ключових груп, які працюють в наноіндустрії</li> </ul>

Сучасний венчурний фонд є товариством на вірі (limited partnership, LP), яке інвестує кошти на фіксований період (як правило, 7 – 10 років з можливістю подовження на кілька років) у капітал компанії, що здійснює діяльність у сфері нанотехнологій. Профіль найбільших венчурних фондів в країнах-лідерах наведено у табл. 4.77 [12, с. 235 – 237].



4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Таблиця 4.77

**Профіль інтелектуального продукту досліджень ННОЦ у країнах-лідерах**

№ з/п	Країна	Назва фонду	Профіль венчурного фонду
1	2	3	4
1	США	ARCH Venture Partners [127]	Великий венчурний фонд в області високих технологій, природничих наук (створений у 1986 р.). Загальний капітал – біля 1,5 млрд дол. США У портфоліо – більше 70 компаній. Нанотехнології – один з пріоритетних напрямків
		Ardesta [128]	Венчурний фонд в області нано- і мікротехнологій. Створений у 2000 р. з метою комерціалізації нано- і мікротехнологій. Виступає як поєднуюча ланка між дослідними інститутами, лабораторіями і споживачами, які зацікавлені у розробках. У портфоліо – 10 компаній
		Draper Fisher Jurvetson [129]	Великий венчурний фонд в області високих технологій (створений у 1985 р.). Інвестував у нанотехнології більше 70 млн дол. США
		Harris & Harris Group [130]	Венчурний фонд, що спеціалізується на інвестиціях у нанотехнології, мікро-схеми і мікроелектромеханічні системи (MEMS). Створений у 1983 р., а безпосередньо нанотехнологіями займається з 1994 р. У портфоліо – біля 25 компаній, загальний капітал – 60 млн дол. США
		Invesco Power Shares ETF Trust [131]	Публічний інвестиційний фонд, створений компанією Power Shares Capital Management. Діяльність компаній фонду відбивається у індексі – Lux Nanotech Index
		Lux Capital [132]	Одна з перших компаній-інвесторів, яка почала інвестувати кошти у нанотехнології. Портфоліо компанії складається з 5 великих проектів; сфера інтересів – розробка наноматеріалів і наносистем
		Morgen-thaler Ventures [133]	Велика інвестиційна компанія, яка сфокусувала свою увагу на сегментах ринку нанотехнологій, що динамічно розвиваються, включаючи наномедицину і нанооптику
		NGEN Partners [134]	Група інвестиційних компаній, сфокусувавши свою увагу на нанотехнологіях. Компанія зарекомендувала себе великою кількістю угод з фінансування фірм, пов'язаних з нанотехнологіями
		Polaris Ventures [135]	Група інвестиційних компаній, що має найбільш видатний портфоліо з більше, ніж 60 компаній і обсягом коштів в управлінні більше 2 млрд дол. США
		Sevin Rosen Funds, SRF [136]	Група інвестиційних компаній, які переважно цікавляться інвестиціями у високі технології і нанотехнології оптичних компонентів
		Nano-Dimension [137]	Венчурний фонд в області нанотехнологій (територіально розташований на Кайманових островах і в Швейцарії) і створений у 2002 р. Загальний капітал – біля 60 млн дол. США. У портфоліо – 4 компанії. Головна мета – підтримка проектів IT/Electronics і в області природничих наук у Європі і Північній Америці, які мають потенціал стати світовими лідерами у своїй області
2	Японія	Innovation Engine [138]	Венчурний фонд в області нанотехнологій, оснований у 2001 р. Загальний капітал – біля 9 млн ієн

Закінчення табл. 4.77

1	2	3	4
		Nanotech Partners [139]	Венчурний фонд Mitsubishi Corp. Створений у 2001 р. Фонд не обмежується Японією, орієнтований на глобальний ринок
3	ЄС	European Investment Bank [140]	Основний фінансовий інструмент ЄС. Має венчурне підрозділ
		European Investment Fund [141]	Європейський венчурний фонд з розвитку малого бізнесу. Займається, в тому числі, нанотехнологіями
4	Ізраїль	The Millennium Technologies fund (MMT) [142]	Венчурна група, сконцентрована на інвестиціях у високотехнологічні проекти, значна частина яких – нанотехнології. Складається з двох фондів - MMT I (створений у 1998 р., капіталізація – 11 млн.дол.США, у портфоліо – 9 компаній) і MMT II (створений у 2000 р., капіталізація – 40 млн дол.США, портфоліо – 11 компаній). Список інвесторів включає Siemens, Henkel, Boeing. У якості об'єктів інвестування обираються технології, які можуть бути продані на протязі 5-річного періоду – косметичні засоби з наноосною, пласті панелі, медичні прилади тощо
5	КНР	Henan Hongue Chemical Company, Ltd [143]	Венчурна група компаній хімічної промисловості з портфоліо нанотехнологічних компаній наукового, промислового і торгового секторів. Територіально знаходиться в м.Пуяуні (PuYang) і є сьогодні найбільшим постачальником двоокису титану (TiO <sub>2</sub> ) та інших порошків

За кордоном по ряду найбільших інноваційних проривів *кластерні утворення*, як основний механізм вирішення проблем на мікрорівні, були висхідними центрами концентрації і інтеграції зусиль наукових, навчальних, промислових і регіональних ініціатив, що забезпечили технологічне лідерство такої країни, як США. При цьому успішність кластерів визначається як роллю університетів, так і активною участю урядів штатів.

В ЄС, Японії і Китаї також існують різні кластерні регіональні утворення, що наближаються до моделі технопарків або виробничих «мономіст».

Деякі порівняльні характеристики нанокластерів США ті інших країн наведені у табл. 4.78 [12, с. 225].

Таблиця 4.78

**Порівняльні характеристики нанокластерів у США, ЄС, Японії та Китаї**

№ з/п	Країни	Наявність нанокластерів	Тип	Роль у національній стратегії	Перспективи розвитку
1	2	3	4	5	6
1	США	++	Комплексний науково-виробничий кластер	++	+++

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

Закінчення табл. 4.78

1	2	3	4	5	6
2	ЄС	+ –	Технопарки, мономіста	–	+
3	Японія	+ –	Технопарки	–	+
4	Китай	–	Регіональний науковий центр	+ –	++

Наприклад, у США найбільшими кластерами наноіндустрії сьогодні є «Силіконова долина» (штат Каліфорнія) і нанокластер в м. Олбані (штат Нью-Йорк), крім того, реалізуються кластерні ініціативи у штатах Арізона, Алабама, Конектикут, Орегон, Північна Кароліна, Південна Кароліна, Вашингтон і Вісконсін.

Сьогодні «Силіконова долина» – це ареал концентрації високотехнологічних компаній навколо Стенфордського університету, який вже не є компактним утворенням і географічно включає в себе урбанізовану частину долини Санта-Клара і райони півострову Сан-Франциско, що прилягають до неї із північного заходу, а також з північний схід берегу заливу Сан-Франциско. Територію власне Стенфордського технопарку можна назвати містом «із самопідтримкою», яке має розвинену інфраструктуру, мережу доріг, електростанцій, оптиковолокноних мереж для над швидкого підключення до Інтернету. Сучасна «Силіконова долина» – це потужний науково-виробничий регіональний кластер, що забезпечує лідерство США у розвитку всього комплексу ІТ-галузі і має такі важливі характеристики:

- Важлива і ініціативна роль великого національного університету (Стенфордського), що створив спеціалізовані інноваційні центри розвитку, зокрема Стенфордський науковий парк;
- Непряма участь держави через державні замовлення і гранти на наукові роботи;
- Найактивніша участь основних промислових і ІТ-компаній США;
- Розвинена інфраструктура, орієнтована на мобільність людей і комфортні умови проживання.

Нанокластер в м. Олбані (або, як його називають, «Технологічна долина») у цілому повторює історію створення Силіконової долини у Каліфорнії, коли великий університет формує спеціалізований науковий центр, який, у свою чергу, починає приваблювати своїми розробками провідні промислові компанії. При цьому увесь такий інноваційний кластер спирається на значну підтримку регіональної влади.

Підтримка уряду штату Нью-Йорк йшла напругу через різні форми стратегічного розвитку «свого» університету, а далі – через податкові пільги, фінансування інфраструктурних проектів і цільові гранти промисловим компаніям. У створення кластера було вкладено 13 млрд дол. США і сьогодні він став найкрупнішим технологічним, дослідницьким і освітнім центром. Декілька провідних світових корпорацій і організацій вклали в «Технологічну долину» (Tech Valley) мільярди доларів, серед них – такі інноваційні лідери, як Applied Materials, AMD, ASML, Beech-Nut, GE Global Research, GE Healthcare, IBM, International SEMANTECH, SONY, Tokyo Electron, Toshiba.

В той же час, кластер у м. Олбані, зберігаючи теперішню спеціалізацію в області наноелектроніки, у найближчі роки буде перетворюватись на міжгалузевий і більш диверсифікований кластер, орієнтований на комерційне виробництво широкої гами нанопродуктів.

Відповідно до офіційної статистики CNSE's Albany (коледж нанотехнологій), даний комплекс «являє собою повністю інтегровану систему навчання, досліджень, розробки, створення прототипів в області нанотехнологій, що забезпечується шляхом стратегічної підтримки і організаційних зусиль уряду штату, бізнес-інкубаторів і провідних світових корпоративних партнерів» [144].

На теперішній час у CNSE's Albany обсяг щорічних робіт з нанотехнологій складає біля 5 млрд дол. США, загальна площа матеріальної бази – 800 тис. кв. футів, кількість вчених і спеціалістів, що безпосередньо зайняті розробками (R&D), – більше 2500 осіб. Все це перетворило CNSE's Albany у провідний науково-навчальний центр нанотехнологій як за концентрацією спеціалістів, так і по інвестиціям в інфраструктуру і обсягам робіт, що виконуються [145].

Ще одним прикладом створення системи координації робіт у сфері нанотехнологій у країнах СНД є національний проект формування у Російській Федерації, згідно з ініціативою Президента Російської Федерації і відповідно до урядової програми розвитку нанотехнологій, національної нанотехнологічної мережі, яка включає: головну наукову організацію – Російський науковий центр «Курчатівський інститут» (що здійснює координацію наукової діяльності щодо реалізації президентської ініціативи), ВАТ «Роснано» (колишня державна корпорація «Роснанотех», що вирішує питання організації й фінансової підтримки інноваційної діяльності у сфері нанотехнологій), провідні наукові, промислові й освітні центри (головні організації за напрямами розвитку нанотехнологій і за регіонами РФ) [7, с.159].

У процесі створення російської національної нанотехнологічної мережі планується сформувати шість технологічних платформ (баз) за усіма напрямами діяльності як структуроутворюючі елементи мережі, а саме: дослідницько-

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

технологічну; науково-освітню і кадрову; інформаційно-економічну (комерціалізація, приватно-державне партнерство); організаційно-правову (інтелектуальна власність, стандарти, безпека); організаційно-методичну для міжнародного співробітництва. Першим етапом створення мережі є проведення фундаментальних досліджень, другим – НДДКР, третім – виробництво нанопродуктів. На цей час більше ніж у 20 регіонах Росії організовано регіональні центри нанотехнологій, до функцій яких входить: інвентаризація робіт і проєктів, що здійснюються в регіоні; участь у створенні колективного інформаційного простору з нанотехнологій і нанопродукції, впровадження результатів нанотехнологічних досліджень на підприємствах регіону. Сьогодні серед російських регіонів, які на думку голови «Роснано» є лідерами міжнародного класу в інноваційній економіці, виділяють Томську область, Татарстан і Уральський регіон [7, с. 161 – 166].

В той же час, слід відмітити, що у наноіндустрії Росії нанокластери як такі, що відповідають принципам і сучасним світовим тенденціям, відсутні. Діючі кластери утворення створені, як правило, за ініціативою навчальних і рідше промислових компаній при загальній політичній підтримці регіональних влад, що вкрай недостатньо як з точки зору ресурсної підтримки, так і для комплексного вирішення науково-виробничих проблем, а також міжнародної кооперації.

Фундаментальною основою рішень з побудови нанокластерів у Росії є кооперація усіх технологічних переділів за конкретною гамою продуктів (включаючи споживання) із забезпеченням взаємодії персоналу, інтелектуального сервісу і фінансування на етапах НДДКР, виробництва, дистрибуції і використання (утилізації) нанопродуктів у рамках кластера. Більше того, крім державної підтримки продажів (у першу чергу, у вигляді держзамовлень / держзакупівель) необхідний ринковий механізм «втягування» нанопродуктів на ринок. Зрозуміло, що просування нанопродуктів, управління сучасним виробництвом хайтек-продуктів неможливе застарілими методами минулого століття. Тому російськими фахівцями запропоновано створення вертикально-інтегрованих типів кластерів, які керують розробкою, виробництвом і реалізацією гами нанопродуктів. Так, запропоновано створення нанокластерів з виробництва світлодіодів, нанокаталізаторів, паливних елементів (для великої і малої енергетики, а також для автономної енергетики), сонячних елементів, генераторів водню, а також аерогелієвої ізоляції, трансформаторів, акумуляторів і суперконденсаторів [12, с. 293, с. 296 – 300].

На світовому ринку так діють нанопродуктові кластери, які представлені потужними інноваційними концернами (ІВМ, Hitachi, Cisco тощо), а також недавно створені нанотехнологічні центри (наприклад, в м. Олбані, США).

Подібних структур в Росії немає, за виключенням оборонно-промислового комплексу і проекту «Сколково». Початком їх створення могли б слугувати такі передпроектні роботи [12, с. 295]:

- Обґрунтування технології формування нанопродуктових кластерів на основі вертикальної інтеграції усіх технологічних ланок розробки, виробництва, реалізації і використання нанопродуктів з обов'язковою освітньою компонентою;
- Виділення інвестиційно-привабливих продуктових ніш у секторах ринку нанопродуктів як ринкової бази кластерів, що створюються;
- Маркетингове тестування ринкових перспектив потенційних нанопродуктових кластерів з обґрунтуванням ємності ринку, можливостей експорту, складу потенційних споживачів, конкурентів, систем збуту, просування і мінімізації ризиків.

В той же час, створення національної нанотехнологічної мережі у Росії означає *відхід від кластерного типу і перехід до мережевого типу структури*. Для вирішення проблеми наскрізного фінансування міждисциплінарних проектів запропоновано найбільш короткий шлях – використання національних лабораторій як бази для міждисциплінарних проектів [7, с. 161]. При цьому, відповідно до доручення Президента РФ, готується до реалізації пілотний проект щодо створення національного дослідницького центру в області нанотехнологій на базі головної організації російської національної нанотехнологічної мережі – РНЦ «Курчатівський інститут». У процесі реалізації вказаного проекту повинно бути відпрацьовано ефективну організаційно-управлінську структуру та створено правові основи діяльності міждисциплінарного дослідницького центру [101].

Крім того, слід відзначити, що російські експерти вважають за необхідне побудову державної системи розвитку наноіндустрії в Росії перевести вже на стадію погодження дій усіх створених для розвитку наноіндустрії державних інституцій. Для цього першочерговим завданням як для наносфери в цілому, так і для її окремих сегментів необхідна розробка дорожніх карт [7, с. 168].

*Дорожня карта* – це комплекс заходів, які необхідно здійснити для досягнення тієї або іншої мети. Це сценарій, який охоплює послідовність дій різних фахівців з метою доведення перспективної науково-технологічної ідеї до промислового впровадження і виведення отриманої продукції на ринки збуту. Дорожня карта готується групою експертів і є загально погодженою точкою зору на цілі розробки і можливі напрями застосування результатів. У процесі підготовки дорожньої карти аналізуються тенденції розвитку визначеного науково-технологічного напрямку, об'єктивно оцінюються усі труднощі та можливості,

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

визначаються етапи проведення робіт, встановлюються вимоги до виконавців робіт тощо.

На думку академіка М. Алфімова, якщо ініціатором заходів зі створення Дорожніх карт розвитку російських нанотехнологій виступить Рада з питань нанотехнологій РФ, то існує велика ймовірність, що будуть не тільки підготовлені дорожні карти, але й успішно реалізовані заплановані програми [146].

#### Висновки

Як свідчить міжнародний досвід регулювання розвитком наноіндустрії у провідних країнах світу, а також враховуючі складний міждисциплінарний характер нанотехнологічних досліджень для успішного розвитку наносфери необхідно реалізувати такі заходи:

1. Проведення *систематичної роботи з визначення стратегічних напрямів розвитку і формування програм* фундаментальних досліджень і прикладних перспективних розробок у наносфері, що найбільш перспективні для умов кожної країни. Визначення вказаних пріоритетів повинно відбуватись в умовах широкого діалогу державної влади (перш за все, уряду) з бізнесовим середовищем і суспільством щодо перспектив комерціалізації і наслідків використання нанопродуктів для здоров'я людей та навколишнього середовища. Узгодження обраних державних пріоритетів розвитку нанотехнологій повинно відбуватись за участю провідних консалтингових компаній і аналітичних агентств, які спеціалізуються на маркетингових дослідженнях ринку нанопродуктів, а також за державних і некомерційних організацій;

2. Вкрай гострою в умовах тривалої економічної кризи стає *проблема координації на державному рівні усіх нанотехнологічних досліджень* з метою ефективного використання наявних ресурсів і уникнення дублювання напрямів робіт. Для цього необхідна розробка і підтримка на рівні Президента і уряду *Національної стратегії розвитку нанотехнологій*, а також відповідних програм реалізації положень стратегії на національному і регіональному рівнях;

3. Для комерціалізації результатів досліджень необхідне формування *розвинутої інфраструктури*, яка буде займатись прискоренням трансферу технологій у виробництво, створенням транспарентних умов для конкуренції і державно-приватного співробітництва;

4. У провідних країнах світу активно формуються *національні нанотехнологічні мережі*, які поєднують велику кількість установ, організацій і виробничих компаній, що проводять нанотехнологічні дослідження, виконують прикладні науково-технологічні розробки і доводять їх до стадії дослідних зразків, а та-



кож займаються комерціалізацією і освітою у сфері нанотехнологій відповідно до обраних і погоджених суспільством напрямів розвитку науки і технологій;

5. Основним елементом національних нанотехнологічних мереж у провідних країнах світу є *нанотехнологічні науково-освітні центри (ННОЦ)* як структурні підрозділи наукової, науково-виробничої організації або університету, і які проводять нанотехнологічні дослідження, підготовку кадрів вищої кваліфікації в області нанотехнологій, а також використовують результати наукових досліджень в освітньому процесі. Найбільш сучасною є *кластерно-мережева модель організації взаємодії ННОЦ*, яка становить синергію двох моделей – кластерної і мережевої. З одного боку, вона представлена кластерними утвореннями з повним циклом НДДКР, а також університетською освітою і циклом впровадження цілої гами нанопродуктів, а з іншого – доповнюється можливостями спільних лабораторних комплексів, спільною інфраструктурою і спеціалізованими нанотехнологічними комплексами, орієнтованими на вирішення вузьких прикладних задач. Тобто вказана модель є мережею кластерів з широким спектром спеціалізацій, які забезпечують вирішення масштабних задач нанотехнологічного розвитку. Використання «кластерно-мережевої» моделі надає можливість розвивати нанотехнології по «всьому фронту» на базі ННОЦ з університетською матеріальною і лабораторною базою;

6. У країнах-лідерах серед *спеціалізованих науково-дослідних організацій* (крім R&D-структур концернів) значну роль відіграють урядові агентства, програми, консорціуми, університети, а також збільшується кількість *професійних громадських організацій*. Діяльність професійних асоціацій підсилюється системою інвестиційних і венчурних компаній. У той же час, сучасні тенденції розвитку *венчурного капіталу* у сфері нанотехнологій свідчать про скорочення обсягів даного виду інвестицій у світових центрах наоіндустрії за рахунок підвищення ролі прямих *корпоративних інвестицій*, які здійснюються на стадії промислового освоєння раніш експериментально апробованих досліджень;

7. За кордоном по ряду найбільших інноваційних проривів *кластерні утворення* стали висхідними центрами концентрації і інтеграції зусиль наукових, навчальних, промислових і регіональних ініціатив, що забезпечили технологічне лідерство такої країни, як США. При цьому успішність кластерів визначається як роллю університетів, так і активною участю урядів штатів;

8. Фундаментальною основою рішень з побудови нанокластерів є кооперація усіх технологічних переділів за конкретною гамою продуктів (включаючи споживання) із забезпеченням взаємодії персоналу, інтелектуального сервісу і фінансування на етапах НДДКР, виробництва, дистрибуції і використання (утилізації) нанопродуктів у рамках кластера. Більше того, крім державної



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

підтримки продажів (у першу чергу у вигляді держзамовлень / держзакупівель) необхідний ринковий механізм «втягування» нанопродуктів на ринок. На думку провідних закордонних фахівців, для країн СНД створення *вертикально-інтегрованих типів кластерів*, які керують розробкою, виробництвом і реалізацією гами нанопродуктів, може дати позитивний результат;

9. Для того, щоб довести процес розбудови державної системи розвитку наноіндустрії до стадії погодження дій усіх створених з цією метою державних інституцій, необхідна розробка *дорожніх карт* як для наносфери в цілому, так і для її окремих сегментів. Дорожня карта як сценарій, який охоплює послідовність дій різних фахівців з метою доведення перспективної науково-технологічної ідеї до промислового впровадження і виведення отриманої продукції на ринки збуту, готується групою експертів і є загально погодженою точкою зору на цілі розробки і можливі напрями застосування результатів.

#### Література

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. Burgess D. E., (2002) «UK MoD's Nanotechnology Initiatives» / Defence Nanotechnology 2002, 31 Oct.- 1 Nov., London: Defence Event Management
5. Kostoff R. N., Stump I. A., Jonson D. et al. Journal of National Research, 8, № 3, 2006.
6. <http://luxresearchinc.com>
7. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г. О. Андрощук, А. В. Якимчук, Н. В. Березняк та ін.: монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.
8. Гапоненко Н. В. Национальные стратегии развития нанонауки / Н. В. Гапоненко // Экономические стратегии. – 2008. – № 8. – С. 44 – 53.
9. Nanotechnology Market and Company Report – Finding Hidden Perls / H.J. Fecht, J. Ilgner et. al. – WMtech Center of Excellence Micro and Nanomaterials, Ulm. – 2003.
10. «National Nanotechnology Initiative: The Initiative and Its Implementation Plan», NSTC/NSET report, July 2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nano.gov/nni2.pdf>

11. The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan, December 2004 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nano.gov/NNI\\_Strategic\\_Plan\\_2004.pdf](http://www.nano.gov/NNI_Strategic_Plan_2004.pdf)
12. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопroduктам / Г. Л. Азоев и др.; под. ред. Г. Л. Азоева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.
13. Small Times «National Initiative releases new strategic plan» (2008) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.smalltimes.com>
14. NNI (2009) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nano.gov>
15. Андросчук Г. О. Програма інноваційного розвитку економіки Німеччини: стратегія високих технологій / Г. О. Андросчук // Наука та інновації. – 2009. – №3. – С. 77 – 88.
16. Эрлих Г. Нанотехнологии как национальная идея // Химия и жизнь, 2008. – №3.
17. Nanotechnology Now, 2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nanotech-now.com>
18. Nanotechnology Companies in the USA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/Nanotechnology\\_Companies\\_in\\_the\\_USA.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/Nanotechnology_Companies_in_the_USA.php)
19. Холдридж Д. Государственная политика США в области нанонауки и нанотехнологий / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
20. Roco M. C. «Government Nanotechnology Funding: An International Outlook». NSF [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nano.gov/intersp\\_rocojune30.htm](http://www.nano.gov/intersp_rocojune30.htm) (accessed 28 Oct.2003)
21. [www.fastlane.nsf.gov](http://www.fastlane.nsf.gov)
22. [www.nano.gov](http://www.nano.gov)
23. Чен Д. Обзор академических исследований США в области нанотехнологий / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
24. Мейяппан М. Развитие нанотехнологий в федеральных лабораториях США / Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
25. DURINT (2005) «The DoD Fiscal Year 2005. Defense University Initiative on Nanotechnology» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.onr.navy.mil/sci\\_tech/special/durint/durint01baa.htm](http://www.onr.navy.mil/sci_tech/special/durint/durint01baa.htm)
26. NRL NT Labs (2002) «Nanoscience and Nanotechnology – DOD Laboratories» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nanosra.nrl.navy.mil/laboratories.html](http://www.nanosra.nrl.navy.mil/laboratories.html) (accessed 28 April 2003)

#### 4. Державне регулювання розвитку нашої індустрії у провідних країнах світу

---

27. NRL NT Funding (2002) «Nanoscience and Nanotechnology – DOD Funding Agencies» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nanosra.nrl.navy.mil/funding.html](http://www.nanosra.nrl.navy.mil/funding.html) (accessed 28 April 2003)

28. NRL Nanoscience (2003) «Nanoscience Institute» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nrl.navy.mil/content.php?P=MULTIDISCIPLINE](http://www.nrl.navy.mil/content.php?P=MULTIDISCIPLINE) (accessed 14 April 2003)

29. LDRD (2003) «Laboratory Directed Research and Development». – Режим доступу: [www.llnl.gov/llnl/04science/LDRD.html](http://www.llnl.gov/llnl/04science/LDRD.html) (accessed 22 April 2003)

30. Матюшенко І. Ю., Моисеєнко Ю. М. Развитие нанотехнологий в США / Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Алушта, 12 – 16 сентября 2011 г. / НАНУ, Центр исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины, Творческий союз НИО Крима. – Симферополь: «ИТ АРИАЛ», 2011. – С.424 – 443.

28. The National Academies Press, 2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nap.edu>

29. Foresight Institute, 2009. A Short History of Nanotechnology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.foresight.org/nano/history.html>

30. Japan Nanotechnology Strategy Update, 2005 – Part One // Asia Pacific Nanotech Weekly, 2005. Vol. 3, article#28.

31. Нестеров С. О развитии нанотехнологий в Японии // Наноиндустрия, 2008. – №1. – С.38 – 40.

32. Roco M. C. Notes on funding of nanotechnology research in Japan / WTEC Hiper-Librarian, September 1999.

33. [www.nanowerk.com](http://www.nanowerk.com)

34. Денисов Ю. Д. Нанотехнологии в Японии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.japan-assoc.ru/publikacii/nauka/japonskii-opyt-dlja-rossiskikh-reform-2007-vypusk-vtoroi/nanotekhnologii-v-japonii.html>

35. Нестеров С. О развитии нанотехнологии в Японии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nanoindustry.su/issue/2008/1/9>

36. Матюшенко І. Ю., Моисеєнко Ю. М. Направления развития нанотехнологий в странах Евросоюза и Японии / Научный информационный журнал «Бизнес Информ». – 2011. – №7(2). – С. 43 – 50.

37. [lisbon.cor.europa.eu](http://lisbon.cor.europa.eu)

38. Nanotechnology Companies in EU. – Режим доступу: <http://www.nanowerk.com>

39. Режим доступу: [http://www.cordis.europa.eu/nanotechnology/src/ec\\_programmes](http://www.cordis.europa.eu/nanotechnology/src/ec_programmes)
40. Режим доступу: <http://www.ec.europa.eu/nanotechnology.faq>
41. Режим доступу: [http://www.ec.europa.eu/dgs/research/index\\_en.html](http://www.ec.europa.eu/dgs/research/index_en.html)
42. Режим доступу: [http://www.ec.europa.eu/nanotechnology/policies\\_en.html](http://www.ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.html)
43. Режим доступу: <http://www.ec.europa.eu/research/index>
44. Кот О. В., Фьодінгер М., Чехун В. О. Організаційно-інституціональні передумови науково-технологічного співробітництва України та ЄС / Проблеми и перспективи инновационного развития экономики: Региональное инновационное развитие: политика, управление, законодательство. Материалы XV международной научно-практической конференции. – Алушта, 13 – 18.09.2010. – С. 315 – 319.
45. Вішневська А., Мутер М. Довідник стипендіальних програм мобільності науковців «Марії Кюрі» Шостої Рамкової Програми Європейського Союзу. – Львів: Львівський ЦНТЕІ, 2005. – 60 с.
46. Nanosciences and Nanotechnologies in the European Research Programmes. Power Point presentation // European Commission, 2004. – Режим доступу: <http://www.ec.europa.eu>
47. Roman C. It's Ours to Lose – An Analysis of EU Nanotechnology Funding and the Sixth Framework Programme, Brussels: European Nanobusiness Association, 2002. – Режим доступу: <http://www.nanoeurope.org/docs/European%20Nanotech%20Funding.pdf> (accessed 10 Nov. 2003)
48. Режим доступу: [http://www.cordis.europa.eu/fp7/cooperation/home\\_en.html](http://www.cordis.europa.eu/fp7/cooperation/home_en.html)
49. Режим доступу: <http://www.cordis.europa.eu/fp7/ideas>
50. Режим доступу: <http://www.cordis.europa.eu/fp7/people>
51. Режим доступу: <http://www.cordis.europa.eu/fp7/capacities>
52. FP7 – Tomorrow's answers start today // European Communities, 2006.
53. Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies –NMP. Work program 2010 // European Commission. C(2009) 5893. 29 July 2009.
54. Communication from the Commission. Towards a European Strategy for nanotechnology // Brussels, 12.5.2004. COM(2004) 338 final.
55. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and Economic and Social Committee. Nanosciences and

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

Nanotechnologies: An Action Plan for Europe 2005-2009. COM(2005) 243 final // Brussels, 07.06.2005.

56. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and Economic and Social Committee. Nanosciences and Nanotechnologies: An Action Plan for Europe 2005-2009 // First Implementation Report 2005-2007. COM(2007) 505 final // Brussels, 06.09.2007.

57. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and Economic and Social Committee. Regulatory Aspects of Nanomaterials, COM(2007) 505 final // Brussels, 14.06.2008.

58. Commission Recommendation on a Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research, C(2008)424 // Brussels, 07.02.2008.

59. FP7: taking European Research to the forefront. European Commission, 2006.

60. Technology Transfer Centre, 2007. «Government funding, companies and applications in nanotechnology worldwide» – Режим доступу: [http://www.nano.org.uk/reports/nanofund\\_commerc.pdf](http://www.nano.org.uk/reports/nanofund_commerc.pdf)

61. BMBF. Nanotechnologie in Deutschland – Standortbestimmung. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2002.

62. Roos U. Germany's Nanotechnology Strategy / Berlin, 2004.

63. NanoNewsNet. Международная нанотехнологическая конференция NanoIsrael в Иерусалиме, Израиль, 2009. – Режим доступу: <http://www.nanonewsnet.ru>

64. INNI, 2009. – Режим доступу: <http://www.nanoisrael.org>

65. [www.search.dainfo.com](http://www.search.dainfo.com)

66. Asiaport Daily News. China's Nanotechnology Revolution / Shanghai, July 19, 2001. – Режим доступу: <http://www.smalltimes.com>

67. Alexandr Nemets. China's nanotech revolution. – Режим доступу: <http://www.asianresearch.org/articles/2260.html>

68. AZO Nanotechnology. Nanotechnology in China. – Режим доступу: <http://www.hkc22.com/nanotechnology2015.html>

69. NanoChina, 2008. – Режим доступу: <http://www.nanochina.cn>

70. Nanotechnology Companies in China. – Режим доступу: <http://www.nanowerk.com>

71. Cientifica, 2009. – Режим доступу: <http://www.cientifica.eu>

72. Режим доступу: <http://www.nanomission.gov.ua>

73. Режим доступу: [http://www.india.gov.in/sectors/science/ministry\\_science.php](http://www.india.gov.in/sectors/science/ministry_science.php)

74. Режим доступу: [http://www.smalltimes.com/Articles/Article\\_Display.cfm?Section=ONART&Category=](http://www.smalltimes.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=ONART&Category=)

75. Режим доступу: [http://www.thaindian.com/newsportal/india-news/institute-of-nano-science-and-technology-to-be-established-at-mohali\\_10097193.html](http://www.thaindian.com/newsportal/india-news/institute-of-nano-science-and-technology-to-be-established-at-mohali_10097193.html)

76. Режим доступу: <http://www2.spi.pt/euroindianet>

77. Режим доступу: [http://www.dst.gov.in/whats\\_new/what\\_new09/projects.pdf](http://www.dst.gov.in/whats_new/what_new09/projects.pdf)

78. Режим доступу: [http://www.dst.gov.in/whats\\_new/what\\_new08/indoitalian-result.pdf](http://www.dst.gov.in/whats_new/what_new08/indoitalian-result.pdf)

79. Режим доступу: [http://www.dst.gov.in/whats\\_new/collaberative-project.pdf](http://www.dst.gov.in/whats_new/collaberative-project.pdf)

80. Режим доступу: [http://www.dst.gov.in/whats\\_new/what\\_new08/dst-ukeri08.pdf](http://www.dst.gov.in/whats_new/what_new08/dst-ukeri08.pdf)

81. Режим доступу: [http://www.dst.gov.in/whats\\_new/what\\_new09/ijcsp-programme.pdf](http://www.dst.gov.in/whats_new/what_new09/ijcsp-programme.pdf)

82. Режим доступу: <http://www.nstc.in>

83. Режим доступу: <http://www.bangalornano.in>

84. Пустовалов В. К. Развитие нанотехнологий – один из возможных путей выхода из мирового экономического кризиса // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики в контексте преодоления мирового финансового кризиса. Материалы XIV международной научно-практической конференции по инновационной деятельности, Киев-Симферополь-Алушта, 2009. – С. 261 – 264.

85. Андриевский Р. А., Рагуля Ф. В. Наноструктурные материалы. – М.: Изд. центр «Академия», 2005.

86. Kostoff R. N., Stump I. A., Jonson D. et al. *Journal of Nanoparticle Research*, 2006. – № 3. – 2006.

87. Алферов Ж. И. Двойные гетероструктуры: концепции и применения в физике, электронике и технологии (Нобелевская лекция, Стокгольм, 8.12.2000) // *Успехи физ. наук.* – 2002. – Т. 172, № 9. – С. 1068.

88. Валиев Р. З., Александров И. В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000.

89. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006.

#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

90. Научная сессия общего собрания РАН по нанотехнологии // Вестник Российской академии наук. – 2003. – Т. 73. – № 5. – С. 387 – 462.

91. Наноматериалы и нанотехнологии / Алферов Ж. И., Асеев А. Л., Гапонов С. В., Копьев П. С. и др. // Микросистемная техника. – 2003. – №8. – С. 3 – 13.

92 Основы политики Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу // Поиск. – 2002. – №16 (19 апреля 2002 г.).

93. Развитие в России работ в области нанотехнологий / Алфимов С. М., Быков В. А., Гребенников Е. П., Желудева С. И. и др. // Микросистемная техника. – 2004. – № 8. – С. 2 – 8.

94. Воробьев П. В. Экономические аспекты развития нанотехнологий в условиях глобализации / П. В. Воробьев // Проблемы современной экономики. – 2007. – № 1.

95. Каартемо М. В. Инновации в России и других странах БРИК / В. Каартемо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bfm.ru/articles/2009/12/17/innovacii-v-rossii-i-drugih-stranah-brik.html>

96. Режим доступа: <http://nano-info.ru/nanotechnologies>.

97.Режимдоступу:[http://www.nanometer.ru/2009/07/31/rosobrazovanie\\_156329.html](http://www.nanometer.ru/2009/07/31/rosobrazovanie_156329.html)

98. Богорош А. Т., Соловьев В. П., Воронов С. А. Современная стратегия развития и интеграции науки в сфере новых веществ и материалов / Проблемы и перспективы инновационного развития экономики. Материалы XIII международной научно-практической конференции по инновационной деятельности, Киев – Симферополь – Севастополь, 2008.– С. 207 – 210.

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

100. Режим доступа: <http://www.rusnano.com>].

101. Ковальчук М. В. Нанотехнологии – фундамент новой наукоемкой экономики. Новые возможности СНГ в XXI веке /М. В. Ковальчук // Наука та інновації. – 2008. – Т.4, № 1. – С. 5 – 28.

102. Матюшенко И. Ю., Вовк В. А., Моисеенко Ю. М. Перспективы развития нанотехнологий в России / Научный информационный журнал «Бизнес Информ» – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2011. – № 6. – С. 17 – 25.

103. Режим доступа: <http://www.bccresearch.com>

104. Режим доступа: <http://www.luxresearchinc.com>



105. Режим доступу: [http://www.researchandmarkets.com/search.asp?q=Nanotechnology&cat\\_id=0](http://www.researchandmarkets.com/search.asp?q=Nanotechnology&cat_id=0)
106. Режим доступу: <http://www.strategyr.com>
107. Режим доступу: <http://www.crnano.org/ideas.htm>
108. Режим доступу: <http://www.azonano.com/new%20stuff.asp>
109. Режим доступу: [http://www.nanoforum.org/nf06~folder~0~modul-showmore~scc~publications~s\\_nfp~1~.html?action=search&](http://www.nanoforum.org/nf06~folder~0~modul-showmore~scc~publications~s_nfp~1~.html?action=search&)
110. Nanotechnology Databases. – Режим доступу: <http://www.tinytechlinks.com>
111. Режим доступу: <http://www.ianano.org>
112. Режим доступу: <http://www.nanotechia.org>
113. Режим доступу: <http://www.isnsce.org>
114. Режим доступу: <http://www.nano.org.uk>
115. Режим доступу: <http://www.aananomed.org>
116. Режим доступу: <http://www.nanobusiness.org>
117. Режим доступу: <http://www.nsti.org/about>
118. Режим доступу: <http://www.euronanotrader.com>
119. Режим доступу: <http://www.euspen.org>
120. Режим доступу: <http://www.nanotechireland.com>
121. Режим доступу: <http://www.ibr.oeaw.ac.at/esgnano/en/index.html>
122. Режим доступу: <http://www.nbcj.jp/en/index.html>
123. Режим доступу: <http://www.nanoctr.cn/english/index.html>
124. Режим доступу: <http://www.nanokorea.net/eng>
125. Режим доступу: <http://www.nanotechnology.com.au/frameset.html>
126. Режим доступу: <http://www.ausnano.net/index.php?page=home>
127. Режим доступу: <http://www.archventure.com>
128. Режим доступу: <http://www.ardesta.com>
129. Режим доступу: <http://www.dfg.com>
130. Режим доступу: <http://www.tinytechvc.com>
131. Режим доступу: <http://www.invescopowershares.com>
132. Режим доступу: <http://www.luxcapital.com>
133. Режим доступу: <http://www.morgenthaler.com>
134. Режим доступу: <http://www.ngenpartners.com>



#### 4. Державне регулювання розвитку наноіндустрії у провідних країнах світу

---

135. Режим доступу: <http://www.polarisventures.com>
136. Режим доступу: <http://www.srfunds.com>
137. Режим доступу: <http://www.nanodimension.com>
138. Режим доступу: <http://www.innovationengine.co.jp>
139. Режим доступу: <http://www.nt-p.com>
140. Режим доступу: <http://www.eib.org>
141. Режим доступу: <http://www.eif.org>
142. Режим доступу: <http://www.mmtfund.com>
143. Режим доступу: <http://www.hongyechem.com>
144. Режим доступу: <http://www.cnse.albany.edu>
145. Режим доступу: [http://www.cnse.albany.edu/facilities/albany\\_nanotech.html](http://www.cnse.albany.edu/facilities/albany_nanotech.html)
146. Алфимов М. В. Дорожные карты как способ организации наноразработок / М. В. Алфимов // Российские нанотехнологии. – 2007. – № 9 – 10.

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

---

### 5.1. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в Україні

Протягом останніх 15 років в Україні понад сотні науково-дослідних інститутів проводять фундаментальні і прикладні дослідження в сфері нанотехнологій у таких напрямках, як: медицина (зокрема, венерологія), біологія, сільське господарство, екологія, енергетика, промисловість, освоєння космосу, кібернетика, електроніка та інші [1]. Найбільш відомими є: Інститут електровзарювання ім. Є. Патона, Інститут геохімії й мінералів НАН України, Національний медичний університет ім. О. Богомольця, Інститут фармакології і токсикології АМН України, Харківський інститут терапії АМН України, НТК «Інститут монокристалів» НАН України, Інститут металофізики НАН України ім. Г. Курдюмова, Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського, Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. Бакуля, Інститут біологічної хімії ім. Ф. Овчаренка, Донецький фізико-технічний інститут ім. О. Галкіна тощо.

Сьогодні в Україні науково-технічними дослідженнями і розробками у сфері нанотехнологій займаються: установи НАН України, провідні українські вищі навчальні заклади, науково-виробничі підприємства Мінпромполітики України, Державний фонд фундаментальних досліджень тощо.

На думку деяких вчених НАН України, найбільш перспективними напрямками використання нанотехнологій будуть [2 – 6], зокрема: створення *наноелектронних приладів*, у першу чергу, транзисторів і мікросхем з багатоплановим номенклатурним використанням в обчислювальній і мікрохвильовій техніці, метрології, вимірювальній техніці, сонячних батареях і фотоекранах; створення *медичних приладів з метою інструментального контрольованого проникнення* за допомогою наночасток і наноприладів у *структуру бар'єрних молекул і молекулярне будівництво*.

Як *перший крок* з державної підтримки розвитку нанотехнологій в Україні, у **2001 році** була започаткована *Міжвідомча науково-технічна програма «Нанофізика та наноелектроніка»*, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 14.04.2001 р. № 85-р. [7]. Виконання Програми проводилось спільно фахівцями України і Росії. Під керівництвом академіків О. Наумов-

ця (Україна) і Ж. Алферова (Росія) було затверджено: структуру і керівників напрямків цієї програми, обрано науково-технічну раду, узгоджено принципи формування, фінансування і конкурсного відбору проектів. З боку України забезпечення фінансування вказаної програми було покладено на Міністерство науки і освіти України, а управління – на ЗАТ «Науково-виробничий концерн «Наука». В Програмі брали участь ряд установ НАН України [8]. До 2008 р. ця Програма нараховувала більше 112 науково-дослідних проектів за такими *фундаментальними напрямками*, як: фізика твердого тіла, фізика напівпровідників, твердотільна технологія.

Однак, фінансування вказаної Програми з боку України виконувалось за залишковим принципом внаслідок частоті зміни урядів. Так, наприклад, у 2009 р. урядом України не було виділено на реалізацію Програми жодної гривні, хоча російська сторона з федерального бюджету активно підтримувала галузеві та академічні інститути (при цьому практично не фінансуючи цю програму для вищих навчальних закладів) [9]. У зв'язку з обмеженим фінансуванням питання про підготовку українських підприємств до освоєння наукоємної патентопридатної продукції, створеної в рамках цієї Програми, взагалі не ставилося – серед 34-х українських її виконавців переважну більшість склали університети та науково-дослідні інститути. Результатом виконання цієї Програми стало отримання патентів на окремі завершені розробки та їхня реалізація за кордоном [10, с. 202].

Українсько-російська підкомісія на своєму засіданні 24 червня 2008 р. прийняла рішення щодо парафування Переліку програмних заходів і основних науково-технічних напрямків співробітництва в рамках **Міждержавної українсько-російської науково-технічної програми «Нанофізика і наноелектроніка»** [11]. Виконання цієї програми в Україні почалося тільки з 30.09.09 р. у зв'язку з «проявами кризових явищ в економіці». Основними *науково-технічними напрямками* в межах вказаного співробітництва були прийняті: фізика наноструктур; технологія наноструктур; наноелектроніка і нанофотоніка; нові наноматеріали; нанобіотехнології; діагностика і метрологія наноструктур (у тому числі з використанням крупних і унікальних установок і комплексів; нанобезпека і захист від можливих негативних впливів нанооб'єктів [12].

Основним принципом співробітництва є безоплатний обмін науково-технічними результатами, що будуть одержані в рамках Програми. Права інтелектуальної власності визначаються договорами за проектами в межах діючого законодавства обох сторін.

Фінансування Програми планується здійснювати у період 2010 – 2013 рр. за рахунок коштів державних програм і наукових фондів Росії та України. Ко-

шти Держбюджету планується спрямовувати на: проведення фундаментальних і прикладних досліджень в галузі нанофізики і нанотехнологій; забезпечення досліджень сучасним імпортним обладнанням, яке необхідне для синтезу (в тому числі діагностики) нанопродуктів; створення цілісної системи підготовки нового покоління дослідників, матеріалознавців і технологів, які володіють міждисциплінарними знаннями і вмінням працювати на сучасному обладнанні; формування незалежної метрологічної служби для розробки стандартів і сертифікації у сфері нанотехнологій, що дозволить об'єктивно оцінювати якість продукції; патентування нанопродуктів і нанотехнологій.

Крім того, у 2004 р. відповідно до Закону України «Про Загальнодержавну комплексну програму розвитку високих наукоємних технологій» від 09.04.2004 р. №1676-IV [13], а також з урахуванням Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження державної програми розвитку промисловості на 2003 – 2011 рр.» від 28.07.03р. № 1174 була прийнята **загальнодержавна програма розвитку високих наукоємних технологій**.

Вказана програма передбачала два етапи: перший (2005 – 2008 рр.) – реалізація проектів, пов'язаних з розробкою наукоємних технологій, що мають найбільшу ступінь готовності до впровадження; другий (2009 – 2013 рр.) – впровадження на підприємствах наукоємних технологій, розроблених за результатами використання програми на першому етапі. Обсяг фінансування першого етапу виконання програми повинен був складати 8755,6 млн грн, в тому числі виконання НДДКР – 2361,1 млн грн. Обсяги фінансування другого етапу повинні були визначатись за результатами виконання першого етапу. Структура запланованого фінансування завдань програми у сфері нано- та біотехнологій наведена у табл. 5.1 [13].

Таблиця 5.1

**Заплановані обсяги фінансування у сфері нано- та біотехнологій в межах Програми розвитку високих наукоємних технологій в Україні у 2005 – 2008 рр.**

Найменування завдання	Запланований обсяг фінансування програми на 2005 – 2008 рр., млн грн							
	2005		2006		2007		2008	
	усього	ут. ч. на НДДКР	усього	ут. ч. на НДДКР	усього	ут. ч. на НДДКР	усього	ут. ч. на НДДКР
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розвиток нанотехнологій і мікроелектроніки, створення і впровадження інформаційних технологій і телекомунікаційних систем	119,1	70,8	132,3	78,7	178,6	106,2	231,4	137,7

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Закінчення табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вдосконалення хімічних технологій, розробка і впровадження нових матеріалів, розвиток біотехнологій	125,6	47,3	139,6	52,6	188,5	71	244,4	92,1

На жаль, вказана програма не була виконана внаслідок зміни уряду і певних політичних змін.

Наступним кроком у розвитку нанотехнологічних досліджень та комерціалізації їх результатів в Україні стало започаткування у **2003 р.** Національною Академією Наук України (НАНУ) **цільової комплексної програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій»** (Комплексна програма) [14]. Сумарне фінансування першого етапу програми за період **2003 – 2006 рр.** склало близько 33 млн грн. Дослідження проводились за 13-ма напрямками теоретичного та експериментального вивчення наносистем, розподіл кількості виконаних проектів за якими наведено у табл. 5.2 [15].

Таблиця 5.2

### Розподіл кількості виконаних проектів за напрямками наукових досліджень програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2003 – 2006 рр.

№ з/п	Напрямок наукових досліджень теоретичного та експериментального вивчення наносистем	Питома кількість виконаних проектів, %
1	Технологія багатофункціональних матеріалів	15,4
2	Нанофізика і наноелектроніка	12,0
3	Діагностика наносистем	11,0
4	Електронна, атомна будова і властивості наноструктурних матеріалів	10,4
5	Синтез і формування наноструктур	9,0
6	Колоїдні нанорозмірні системи	8,6
7	Фізика напівпровідникових наноструктур	7,4
8	Біонаноматеріали: синтез та властивості	5,6
9	Атомно-молекулярна архітектура наноструктур	5,6
10	Фізико-хімія поверхневих явищ, супрамолекулярна хімія	5,1
11	Фізика і технологія наноматеріалів в екстремальних умовах	4,6
12	Тонкоплівні нанотехнології з'єднання неорганічних матеріалів	3,3
13	Інформаційне забезпечення робіт з проблем «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології»	2,0

Проекти в рамках Комплексної програми в період з 2003 по 2006 рр. були закріплені за 37-ма установами, з яких 96,7% – установи НАН України, а саме: Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича (11,3%), Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова (11,3%), Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського (9,5%), Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова (6,3%) тощо.

Комплексна програма була впродовжена на **2007 – 2009 рр.** за 14-ма напрямками у 4-х розділах: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [16, 17]. Виконання цієї програми продовжувалось і в 2010 р.

У виконанні 133 проектів цієї програми брали участь вже 41 установа семи відділень НАН України. Керівником програми був академік А. Шпак. Основні найбільш значущі результати виконання Комплексної програми за період 2006 – 2009 рр. подані у табл. 5.3 [18 – 22].

У виробництво було впроваджено такі технології, як: ультразвукова технологія виготовлення виробів із наномодифікованого вуглепластика; технологія виготовлення магнітопроводів трансформаторів, телекомунікаційних систем, осердь вимірювальних приладів; технологія синтезу кальцієвих гідроксоапатиту і фторапатиту як біонаноматеріалів для медицини; технологія виготовлення радіаційно стійкого фотоперетворювача на основі структури  $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-GaSe}$  для виробництва фотоприймачів та фотовипромінювачів; стійкі нанорозмірні дисперсії каолініту як гетерокоагулянти, сорбенти; установки очищення висококонцентрованих стічних вод з використанням ультрадисперсних фаз гідрооксидів заліза; технологія виготовлення біоактивних композитів «Синтекістка» для відновлення кісткової тканини після оперативного втручання в хірургії. Установами-лідерами з впровадження стали: Інститут електрозварювання ім. Є. Патона НАН України, Інститут біологічної хімії ім. Ф. Овчаренка НАН України та Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова НАН України – по 16,6% від усієї кількості установ [18].

В рамках виконання Комплексної програми за період 2007 – 2009 рр. було придбано близько 20-ти унікальних приладів провідних світових виробників, створено центри колективного користування [10, с. 207]. У 2009 р. підписано Угоду про створення «Міжнародного інноваційного центру нанотехнологій СНД», одним із засновків якого є НАН України.

Таблиця 5.3

**Відповідність глобальним проблемам людства найбільш значущих результатів виконання програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2006 – 2009 рр.**

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2006	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	<p><i>Інститут фізики НАНУ:</i> вперше досліджено явище аномального (більш ніж на порядок) зростання фотопровідності у AlGaIn/GaN гетероструктурах, яке є важливим при створенні приладів ультрафіолетової оптоелектроніки. Виявлено помітну світлочутливість польової емісії з багаточарових структур квантових точок Ge в області 0,4 – 10 мкм при 300 К</p>	Створення приладів нічного бачення, які працюватимуть без охолодження	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (шостий уклад)
		<p><i>Інститут теоретичної фізики ім. М. Боголюбова НАНУ:</i> на основі методу нерівноважної матриці густини було розроблено підхід та отримано аналітичні вирази для опису тунельної та стрибкової компонент струму через молекулу, що встановлена між електродами</p>	Нові методи вимірювання струму та передачі енергії	Енергетика	Енергетика та ресурси
		<p><i>Інститут електрозварювання ім. Є. Патона НАНУ:</i> методом електронно-променевого осадження міді отримано покриття, характерний розмір структурних елементів яких змінюється від мікро- до нанорозмірного масштабу. Вивчено залежності демпфуючої здатності конденсатів міді залежно від розміру зерен. Експериментально обґрунтовано можливість створення високодемфуючих покриттів на основі наноструктурованих матеріалів</p>	Високодемфуючі покриття; зварювання металів, які звичайно неможливо зварити	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)
		<p><i>Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова:</i> з урахуванням динамічних ефектів багатократності розсіяння рентгенівських променів створено теоретичні та експериментальні основи нового покоління кількісної діагностики дефектів різних типів (у т. ч.) та структури складних гетерогенних наноматеріалів</p>	Діагностика нанорозмірних дефектів та структури гетерогенних наноматеріалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)
		<p><i>Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ:</i> вперше отримано криву деформації для наноструктурних квазікристалів й показано збільшення міцності та пластичності в них на відміну від крупнозернистих квазікристалів.</p>	Діагностика характеристик квазікристалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	<i>Інститут фізичної хімії ім. Л. Писаржевського НАНУ:</i> знайдено шляхи хімічного і електрохімічного формування нановолокон електропровідних полімерів (поліпіпіліну, поліпіролу) та наноструктурованих електродів для електрохімічного синтезу цінних органічних сполук. На основі одержаних нанокмпозитів електропровідних спряжених полімерів та оксиду ванадію створено катодні матеріали для літєвих акумуляторів, які здатні до багаторазового заряду з розрядною ємністю 200 мА год/г	Нановолокна електропровідних полімерів, наноструктуровані електроди. Катодні матеріали для літєвих акумуляторів, що відповідають світовому рівню досягнень	Нові матеріали. Енергетика	Енергетика та ресурси. Технологічне відставання (шостий уклад).
		<i>Фізико-хімічний інститут ім. О. Богатського НАНУ:</i> розроблено нові способи синтезу кальцієвих гідроксоапатиту і фторапатиту як основи біонаноматеріалів у хлоридних та карбонатних розтопах при температурах, відповідно, 700 та 500°C. Показана висока сорбційна здатність синтезованих матеріалів до іонів $Pb^{2+}$ , $Cd^{2+}$ у водних розчинах	Біонаноматеріали з високою сорбційною здатністю	Медицина	Депопуляція і старіння населення
	Технології наноматеріалів	<i>Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ:</i> виготовлено робочі варіанти багатоканальних сенсорних масивів на кремнієвих ємнісних електродіодіелектрик-напівпровідних структурах та інтегральних іоноселективних польових транзисторах з іоночутливим шаром нітриду кремнію. Розроблено технологію отримання періодичних 2D структур плазмонних наночастинок на поверхні напівпровідника і запропоновано метод створення впорядкованих ансамблів наночастинок металу на поверхні напівпровідника. Створено технологію нанесення поруватих $SiO_x$ різного складу за допомогою осадження у вакуумі на підкладки	Тонкоплівні світлові-прямуючі структури на основі нановключень; Метод створення впорядкованих ансамблів наночастинок металу на поверхні напівпровідника	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (шостий уклад)
	Біонаносистеми	<i>Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ:</i> досліджено біологічні властивості синтезованих наноструктурованих біоактивних керамічних композитів на основі гідроксоапатиту і інших біоактивних фаз	Можливість досягнення повної резорбції і повного перетворення біоактивного керамічного композита на кістку	Медицина	Депопуляція і старіння населення





Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6
		Розроблено новий металоорганічний нанокompозит на основі наночастинок Au для виготовлення об'ємних та рельєфних періодичних структур для використання як нелінійні дифракційні елементи та резонатори у хвильоводних лазерах	Нанокompозити для дифракційних елементів та резонаторів у хвильоводних лазерах	Оптоелектроніка	Технологічне відстання (б уклад)
	Технології наноматеріалів	В гетероструктурах широкозонних напівпровідників AlGaIn/GaN досягнуто дрейфову швидкість електронів $10^8$ см/с, яка у 4 рази перевищує досягнуті у світі значення. Створено нові наноструктурні гетеросистеми з фулеренами, отримані плівки з фулеренами $C_{60}$ на підкладках Si, GaAs, NaCl, слюди, $CaCO_3$ .	Можливість збільшити робочі частоти НВЧ приладів. Плівки з фулеренами $C_{60}$	Електроніка	«-
		Створено однофазні композиційні напівпровідникові феромагнетики р-типу провідності.	Напівпровідникові феромагнетики	Електроніка	«-
		Здійснено моделювання процесів взаємодії випромінювання різних спектральних діапазонів з біоаносередовищами ока	Макет офтальмоскопа нового покоління	Медицина	Депопуляція і старіння населення
	Біонаносистеми	Розроблено методи синтезу матеріалів на основі гідроксоалатиту та природних полісахаридів як заміників кісткової тканини	Замінники кісток в ортопедії та стоматології	Медицина	«-
		Розроблено чутливу методику реєстрації конфірмаційних змін у ДНК та роуА при взаємодії з вулцецими одностінними нанотрубками	Реєстрація змін у ДНК	Медицина	«-
		Відпрацьовано методику швидкісного та надійного біохімічного контролю дії магнітних порошоків на основі заліза на організм людини	Біохімічний контроль дії магнітних порошоків	Медицина	«-
	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Виявлено часову осциляцію резонансної частоти поверхневих плазмонів в композитах на основі наночасток багатородних металів, збуджених фемтосекундними лазерними імпульсами	Нові властивості матеріалів (нанокompозитів)	Електроніка	Технологічне відстання (б уклад)
2008		Отримано підсилення спонтанного випромінювання в полімерній матриці з просторово впорядкованими голографічними способом наночастинками CdSe/ZnS	Нові властивості матеріалів	Оптоелектроніка	«-
		Вирощено методом молекулярно-променевої епітаксії буферні Si та SiGe шари, багатощарові InGaAs/GaAs структури з квантовими елементами	Нові наноматеріали	Електроніка	«-

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6
		Вивчено гетероструктури феромагнітний напівметал $\text{Co}_2\text{CrAl}$ – надпровідник Рb	Нові наноматеріали	Енергетика	Енергетика та енергозбереження
		Досліджено фрактальний характер агрегації в нанокомпозитах різної природи	Нові властивості матеріалів (нанокомпозитів)	Електроніка	Технологічне відставання (б уклад)
		Відпрацьовано технології матричного синтезу мезопористого оксиду вольфраму, темплатного формування наноструктурованих титанатів	Одержання нових матеріалів	Електроніка	«-»
		Розроблено нові органо-неорганічні гібридні нанокомпозити на основі електропровідних спряжених полімерів та наноструктурованих неорганічних матриць	Матеріали для літєвих літєвих акумуляторів, фотовольтаїчних елементів, суперконденсаторів, світловипромінюючих діодів	Енергетика Оптоелектроніка	Енергетика та енергозбереження
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Продемонстровано можливість використання реакції фотокаталітичного відновлення сірки етанолом, використано нанокристалічні плівки $\text{TiO}_2$ для формування нанокомпозитів $\text{CdS}/\text{TiO}_2$ , $\text{PbS}/\text{TiO}_2$ та $\text{Cu}_2\text{S}/\text{TiO}_2$	Нові нанокомпозити	Електроніка	Технологічне відставання (б уклад)
		Одержано пористі вуглецьмісні матеріали методом карбонізації полівініліденфториду в кремнеземних матрицях	Можливість створення наномембран	Електроніка	«-»
		Розроблено методики синтезу порожнистих наносфер $\text{TiO}_2$	Можливість перенесення водно та інших речовин	Енергетика	Енергетика та енергозбереження
		Отримано нанокомпозит типу $\text{Fe}_3\text{V/Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{V}$ з високим рівнем магнітних властивостей	Нові композиційні матеріали	Електроніка	Технологічне відставання (б уклад)

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6
		Створено технологію зварювання сплавів та інтерметалічних матеріалів через нашоарувааті присадки	Одержання нероз'ємних з'єднань	Електроніка	-«-
	Технології наноматеріалів	Розроблено метод отримання нанокompatимних провідникових матеріалів мідь-ніобій стрічкового типу з високими міцністю та електропровідністю	Нові композиційні матеріали	Електроніка	-«-
		Отримано нанодисперсні плівки гідроксидатиту кальцію та надано оцінку їх остеопровідності	Нові наноматеріали	Електроніка	-«-
	Біонаносистеми	Створено матеріали медикобіологічного призначення, які випробувались в закладах НАН України та МОЗ України	Нові наноматеріали	Медицина	Депопуляція і старіння населення
		Створено нові композиційні матеріали для ендопротезування кісткової тканини в ортопедії та стоматології на основі гідрогелевих матриць з інкорпорованими наночастками гідроксидатиту, колоїдного срібла та магнетиту	Нові композиційні матеріали	Медицина	-«-
		Одержано періодичні структури полімернаночастинки з субмікронним періодом, які можуть використовуватись як високоєфективні дифракційні ґратки, керовані світлом нелінійні дифракційні елементи та фотонні кристали, резонатори лазерів	Нові нанополімери, фотонні кристали, резонатори лазерів	Електроніка, фотоніка, лазерна техніка	Технологічне відставання (б уклад)
2009	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Створено технологічні основи виготовлення детекторів терагерцового діапазону, теплових випромінювачів інфрачервоного діапазону на основі одношарових германій-кремнієвих наноструктур	Терагерцові детектори, теплові випромінювачі	Електроніка, теплотехніка	-«-
		Передбачено новий ефект спінелектричної природи у кільцевих наноструктурах, які можуть бути використані при створенні елементів квантового комп'ютеру	Елементи квантового комп'ютеру	Електроніка	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Розроблено способи одержання термостабільних титанатних нанотрубок з розвинутою поверхнею і великим сорбційним об'ємом пор	Титанатні нанотрубки	Електроніка	-«-

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Закінчення табл. 5.3

1	2	3	4	5	6
		Створено високопродуктивний метод одержання багатшарових вуглецевих нанотрубок із заданими структурними параметрами	Багатшарові вуглецеві нанотрубки із заданою структурою	Електроніка	««
		Розроблено технологію виготовлення композиту фторопласт-багатшарні вуглецеві нанотрубки, на основі яких створено антифрикційні покриття та матеріали	Використання в якості підшипників ковзання, для покриттів рухомих з'єднань та поверхонь тертя штучних сулюбів	Приладобудування, машинобудування, медицина	Технологічне відставання (б уклад); депопуляція і старіння населення
	Технології наноматеріалів	Запропоновано новий тип нелінійно-оптичних матеріалів — іонні накомполітні мезоморфні стекла, доповнені наночастинками барвників або надровідників	Можливість здійснення голографічного запису тонких динамічних (фазових і амплітудних) ґраток	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (б уклад)
		Отримано нові гібридні органо-неорганічні кремнійстійкі накомполіти з керованою на нанорівні структурою, модифікування яких біологічно активними сполуками надає цим системам біологічної активності відносно патогенних мікроорганізмів	Нанокполіти з біологічною активністю до патогенних мікроорганізмів	Медицина	Депопуляція і старіння населення
	Біонаносистеми	Розроблено новий метод синтезу біметалевих наночастинок золота та срібла в пористих прозорих золь-гель плівках кремнезему	Біосенсори	Електроніка медицина	««
		Синтезовано нові наноструктуровані матеріали на основі мікроорганізмів і наночастинок срібла, стабілізованих в біотемплатах	Нові нанобіоматеріали	Електроніка медицина	««
		Розроблено технології синтезу наноструктурованих біоактивних керамічних матеріалів і композитів, які забезпечують відновлення кісткової тканини	Наноматеріали для хірургічного лікування травм кісток	Медицина	««

Слід зазначити, що в Україні неодноразово намагались провести прогнозування найбільш перспективних з точки зору комерціалізації напрямів науково-технічних досліджень у сфері нанотехнологій. Так, виконання Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку у 2004 – 2006 рр., яка в результаті експертного опитування близько 700 вчених та фахівців, здійсненого у три тури за методом Дельфі, дозволило сформувати ієрархію науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [23, 24]. До переліку актуальних напрямів інноваційної діяльності, найбільш результативних у середньостроковій перспективі (до 5 років), було включено: створення наноструктурних композитів альтернативної енергетики, наприклад, сонячні батареї – суперконденсатори, оксидні паливні осередки (4,34 бали за 5-бальною шкалою); освоєння нанотехнології в оптоелектроніці, медичній діагностиці, у тому числі для рентгєнівських томографів (4,34 бали). А до переліку найбільш важливих досліджень, які можуть серйозно вплинути на економічний і соціальний розвиток України у довгостроковій перспективі (15 – 20 років), експерти включили розробку нанобіотехнологій і розвиток матеріалознавства для медицини (біоматеріали, сумісні з людським організмом) та створення комплексу інструментів і елементів пристроїв і приладів медичного призначення, зокрема: розробка нових діагностичних систем (4,64 бали); розробка нанопристроїв, нанороботів (наноботів), у тому числі для хірургічних операцій у судинах і окремих клітинах організму (4,42 бали).

Вказані дослідження були продовжені фахівцями УкрІНТЕІ в рамках виконання Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку України на 2008 – 2012 рр., затвердженої постановою КМУ від 11.09.2007 р. № 1118 [25, 26]. За результатами опитувань експертів було визначено за пріоритетним напрямом «Нанотехнології та нові матеріали» 16 нанотехнологій (що становить 27% всіх відібраних), які в першу чергу викликають інтерес у підприємців і промисловців. З переліку цих технологій Науково-технічна рада Державної програми схвалила 6 технологій як критичні. Перелік вказаних нанотехнологій наведено у табл. 5.4 [10, с. 214 – 216].

Крім того, Постановою Бюро Президії НАН України від 31.01.08 №23 було затверджено перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок, в якому за напрямком наукових досліджень «Наноматеріали і нанотехнології» було визнано за пріоритетні розробки у таких сферах, як: «Наноструктурні матеріали із заданими властивостями, технологічне обладнання»; «Наноелектроніка»; «Нанохімічні та нанобіологічні технології».

**Перелік нанотехнологій за напрямом «Нанотехнології та нові матеріали»,  
найбільш перспективних для комерціалізації в Україні у 2008 – 2009 рр.**

№ з/п	Назва технології
<i>Перелік критичних нанотехнологій (напрямок «Наноматеріали і способи їх отримання»)</i>	
1	Застосування гідротермального способу отримання нанопористого вуглецю при високому тиску
2	Використання потужного лазерного випромінювання для цілеспрямованої модифікації нанопористих матеріалів (TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> )
3	Хімічні методи отримання наночасток із функціональною поверхнею, придатною для приєднання антитіл
4	Технологія створення флуоресцентних нанозондів для моніторингу фізіологічного стану біологічних об'єктів
5	Дослідно-виробнича технологія виготовлення вуглецевих наноструктурних композитів
6	Оптимізована технологія отримання наноструктур на основі сполук AlIVBVI для пристроїв нового покоління
<i>Інші нанотехнології, що найбільше готові до комерціалізації</i>	
7	Наноконпозиційні градієнтні композиційні покриття (гальванопорошкова металургія)
8	Порошкова металургія з використанням нанотехнологій
9	Технологія отримання плівкових наноструктурних 0D, 1D та 2D напівпровідникових матеріалів
10	Відновлення металевих оксидів нанорозмірним порошком карбїду кремнію
11	Низькотемпературні хімічні золь-гельні та міцелярні методи отримання люмінесцентних наночасток
12	Отримання оптичної кераміки, наноконполитів із люмінесцентних наночасток методами пресування та синтезу наночасток в кристалічних, скляних та полімерних матрицях
13	Дослідно-виробнича технологія виготовлення вуглецевих наноструктурних композитів
14	Технологія виробництва оксидних нанопорошків та керамічних виробів для роботи в агресивних середовищах
15	Нанотехнології в порошковій металургії
16	Одержання і застосування наноматеріалів на основі діоксиду титану

З метою подальшого виконання актуальних фундаментальних і прикладних робіт з розвитку наукових досліджень у сфері нанотехнологій, НАН України розробила **Концепцію цільової комплексної програми фундаментальних досліджень «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр.**, затверджену Постановою Президії НАН України від 05.05.2010 р. №129 [27]. Вказана програма складається також з 4-х розділів: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [28]. Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2010 р. наведені у табл. 5.5 [29].

Таблиця 5.5

**Найбільш значущі результати виконання програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2010 р.**

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
2010	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Встановлено можливість здійснення за допомогою позитронів неруйнівного контролю якості великих партій вуглецевих нанотрубок та діагностики їх дефектів як в розташуванні шарів, так і в графенових шарах	Неруйнівний контроль та діагностика дефектів нанотрубок	Електроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		За результатами експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання методом молекулярної динаміки визначено закономірності впливу розмірів на міцність нанокристалу вуглецю, нанозразків із цирконієвого об'ємного скла та металевих нанокристалів	Вивчення властивостей нанокристалів	Електроніка	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Відпрацьовано методики одержання колоїдів графеноксиду у водних розчинах та їх стабілізації анонімними поверхнево-активними речовинами	Нові матеріали – графеноксиди	Електроніка	-«-
	Технології наноматеріалів	Показано можливість отримання наноструктури в промислових сплавах титану шляхом деформації	Нові властивості сплавів титану для технологій підвищення стійкості до циклічних навантажень	Наномеханіка	-«-
Біонаносистеми	Проведено дослідження впливу частинок феромагнетику на структурно-функціональні і токсикологічні характеристики пухлинних клітин. Показано, що прояв генотоксичної дії наночастинок металів залежить від їх природи та розміру. Експериментально підтверджено, що наночастинки золота розміром 30 нм є найбільш біосумісними та біобезпечними як засоби цільової доставки препаратів	Наночастинки металів, перспективні у якості засобів цільової доставки препаратів	Медицина	Депопуляція і старіння населення	

Крім того, у 2009 р. була затверджена *Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.* відповідно до Постанови КМУ від 28.10.09 р. №1231 [30]. Очікуваними *результатами виконання програми* стануть: розробка нанотехнологій, нанобіотехнологій,



## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

дослідно-промислових технологій; виготовлення наноматеріалів, вимірювальних приладів, типономіналів; створення біоелементів, біосенсорів, нанофотокатализаторів; утворення підрозділів, центрів сертифікації; впровадження нанотехнологій. Програмою також припускається створення базових наукових кафедр за спеціальностями: «Нанофізика», «Наноелектроніка», «Нанобіомедицина», «Наноматеріалознавство» в усіх вузах держави [31].

В рамках цієї державної програми вперше головними розпорядниками коштів стали НАН України (фінансує 49% проектів) та Міністерство освіти і науки України (фінансує 51% проектів). Загальний орієнтовний обсяг коштів, необхідних для виконання програми, становить 1,847 млрд грн. У табл. 5.7 наведено прогнозні обсяги і джерела фінансування Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [31].

Таблиця 5.7

### Прогнозні обсяги та джерела фінансування Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.

№ з/п	Джерела фінансування	Обсяг фінансування, млн грн	У тому числі за роками				
			2010	2011	2012	2013	2014
1.	Державний бюджет	1682,3	336,35	356,25	368,15	325,7	295,85
2.	Інші джерела	164,8	24,85	35,75	41,6	32,8	29,8
	Усього	1847,1	361,2	392,0	409,75	358,5	325,65

Для порівняння: в рамках РП-7 Європейського Союзу на розвиток нанотехнологій тільки у 2011 р. передбачено виділити **270 млн євро**, сконцентрувавши їх на тих розробках, які можуть завершитися патентуванням та комерціалізацією результатів! [37]. В Росії на розвиток нового стратегічного напрямку – наноіндустрія – в рамках спеціалізованої національної програми на 2008 – 2012 рр. виділено **8 млрд дол. США** [48, с. 222].

У додатку В наведено відповідність глобальним проблемам розроблених «Наноматеріалів і нанотехнологій» з Переліку завершених розробок установ НАН України, створених в рамках реалізації найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок [32].

Проекти Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки реалізуються за 9-ма найважливішими напрямками нанодосліджень.

У 2010 р. за цією програмою було проведено конкурс науково-технічних проектів, на який надійшло 315 проектів. Але відповідно до розпорядження Президії НАН України від 20.08.10 р. №524 «Про затвердження на 2010 рік переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.» [33] у зв'язку з тим, що коштів для виконання завдань та заходів цієї програми було виділено значно менше від запланованих, лише 120 проектів за 7-ма пріоритетними напрямками було прийнято до фінансування із загальним обсягом фінансування – **19,155** млн грн проти запланованих 336,35 млн грн (див. табл. 5.7). Розподіл за пріоритетними напрямками нанодосліджень запланованих та фактичних коштів і проектів у 2010 р. наведено у табл. 5.8 [15].

Таблиця 5.8

**Розподіл за пріоритетними напрямками нанодосліджень коштів та проектів у 2010 р. в рамках «Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.**

№ з/п	Основні напрями нанодосліджень	Питома вага запланованих коштів, %	Питома вага фактично виділених коштів у 2010 р., %	Питома вага за фактичною кількістю проектів у 2010 р.
1	Нанобіотехнології	24,9	17,5	22,5
2	Наноелектроніка і нанофотоніка	21,0	–	–
3	Наноматеріали	19,5	21,1	14,2
4	Діагностика наноструктур	9,1	10,9	10,8
5	Забезпечення розвитку нашої індустрії	7,5	4,1	1,6
6	Технології напівпровідникових наноструктур	6,5	10,8	15,9
7	Фізика наноструктур	5,5	17,8	18,3
8	Нанохімія	5,1	17,8	16,7
9	Нанобезпека	0,9	–	–

У реалізації програми у 2010 р. брали участь наукові колективи 41 установи НАН України [29, 32]. В рамках виконання програми було створено також науково-освітній центр «Наноелектроніка і нанотехнології» [36].

У 2011 р. продовжувалось виконання вказаної програми відповідно до розпорядження Президії НАН України від 17.02.11 р. № 102 «Про затвердження на 2011 р. переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.»

[34, 35]. Слід відзначити, що загальний обсяг коштів, виділених на реалізацію програми у 2011 р., як видно з табл.5.7, залишився таким самим, як і у 2010 р., тобто **19,155** млн грн проти запланованих 356,25 млн грн. Докладніше перелік наукових проектів вказаної програми у 2010 – 2011 рр. наведено у Додатку Г.

### 5.2. Проблема визначення пріоритетних напрямків розвитку нанотехнологій в Україні

Сьогодні практично усі розвинені держави світу (США, Євросоюз, Японія, Південна Корея, Китай, Індія, Росія) вбачають в нанотехнологіях (N) разом з біотехнологіями (B), інформаційними (I) та когнітивними (C) технологіями чи не головний інструмент, за допомогою якого можна буде вирішити у недалекому майбутньому основні *глобальні проблеми людства*. В Україні також проводяться фундаментальні і прикладні дослідження в сфері нанотехнологій [1], в той же час, **пріоритети** цих досліджень потребують уточнення відповідно до глобальних проблем, які необхідно вирішувати з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення нанотехнологічних досліджень.

Крім того, порівняно низька результативність виконання українських програм у попередні роки з погляду комерціалізації результатів досліджень суттєво уповільнюють формування шостого технологічного укладу і не дозволяють швидко й ефективно підвищити конкурентоспроможність й інвестиційну привабливість держави у світі та реформувані на цій основі українську економіку в цілому.

Історію прийняття в Україні законодавчих актів, що визначали би пріоритетні напрями розвитку науки і техніки, можна викласти таким чином [38]:

- у 1991 р. був прийнятий Закон України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності» [39], який заклав основи державної політики в науково-технологічній сфері, визначив основні механізми її формування і реалізації;
- у 2001 р. було прийнято Закон України «Про пріоритетні напрями науки і техніки» [40] з новими пріоритетами і в якому було прописано механізм реалізації цих пріоритетів – через систему державних науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки;
- з 2004 р. до 2006 р. виконання «Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004 – 2006 рр.» дозволило сформувати ієрархію науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [23 – 24, 41];

- у 2007 р. була затверджена і виконувалась «Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2012 рр.» [42], виконання першого етапу якої на базі УкрІНТЕІ дозволило відпрацювати технологію виявлення та уточнення технологій за пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки [25 – 26];
- у червні 2010 р. Верховна Рада України прийняла нову редакцію Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [43];
- у вересні 2011 р. було прийнято *Постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 р.» від 07 вересня 2011 р. № 942* [44].

У табл. 5.9 наведено порівняння пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, що були затверджені у відповідних редакціях цього Закону та у вказаній Постанові Кабінету Міністрів України.

Як видно з табл. 5.9, затверджені пріоритети тільки в редакції 2011 року мають достатню ступінь деталізації, важливість якої визнана на рівні Кабінету Міністрів України. Крім того, у цій таблиці виділені ті пріоритети, які безпосередньо пов'язані з NBIC-технологіями та їх конвергенцією, що утворюють ядро майбутнього шостого технологічного укладу.

Постановою Бюро Президії НАН України від 31.01.08 №23 [45] було затверджено Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок, відповідність яких глобальним проблемам людства наведено у табл. 5.10.

Таблиця 5.9

## Співставлення пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, затверджених в редакціях Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» 1992, 2001 та 2010 рр. та Постанові КМУ № 942 від 07.09.11 р.

№ з/п	Рік			
	1992	2001	2010	2011
1	2	3	4	5
1	Відсутні	Фундаментальні дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України та сталого розвитку суспільства і держави: 1. Найважливіші проблеми фізико-математичних і технічних наук; 2. Фундаментальні проблеми сучасного матеріалознавства; 3. Найважливіші проблеми хімії та розвитку хімічних технологій; 4. Фундаментальні проблеми наук про життя та розвиток біотехнологій; 5. Фундаментальні дослідження з актуальних проблем суспільних та гуманітарних наук.	Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України та сталого розвитку суспільства і держави	Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України та сталого розвитку суспільних та гуманітарних наук.
2	Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автоматизації, системи зв'язку	Нові комп'ютерні засоби і технології інформатизації суспільства	Інформаційні та комунікаційні технології	Інформаційні та комунікаційні технології: 1. Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних та комунікаційних технологій; 2. Інтелектуальні інформаційні та інформаційно-аналітичні технології. Інтегровані системи баз даних та знань. Національні інформаційні ресурси; 3. Суперкомп'ютерні програмно-технічні засоби, телекомунікаційні мережі та системи. Грід- та клауд-технології; 4. Технології та засоби розробки програмних продуктів і систем; 5. Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення; 6. Технології та інструментальні засоби електронного урядування. Інформаційно-аналітичні системи, системи підтримки прийняття рішень. Ситуаційні центри; 7. Технології та засоби захисту інформації.

Продовження табл. 5.9

1	2	3	4	5
3	Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології	Найновіші технології ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості і агропромисловому комплексі	Енергетика та енергоефективність	<p>Енергетика та енергоефективність:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технології ефективного енергозабезпечення будівель і споруд;</li> <li>2. Технології електроенергетики;</li> <li>3. Технології атомної енергетики;</li> <li>4. Технології енергетичного машинобудування;</li> <li>5. Технології використання нових видів палива, швидких енергоресурсів, відновлюваних та альтернативних джерел енергії. Теплотехнічні технології;</li> <li>6. Нанотехнології створення нового покоління мастильних матеріалів для промисловості.</li> <li>7. Технології та засоби експертно-аналітичного контролю якості моторних палив (автомобільних бензинів та дизельного палива згідно з вимогами «Євро-4», «Євро-5»; скрапленого нафтового газу і біопалива);</li> <li>8. Способи застосування сучасного енергоменеджменту. Технології забезпечення енергобезпеки.</li> </ol>
4	Виробництво, переробка та збереження сільськогосподарської продукції			
5	Охорона навколишнього природного середовища	Збереження навколишнього середовища, усталений розвиток	Рациональне природокористування	<p>Рациональне природокористування:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технології сталого використання, збереження і збагачення біоресурсів та покращення їх якості і безпечності; збереження біорізноманіття;</li> <li>2. Технології моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища;</li> <li>3. Технології утилізації та видалення побутових і промислових відходів;</li> <li>4. Технології раціонального водокористування, підвищення ефективності очищення стічних вод та запобігання забрудненню водних об'єктів;</li> <li>5. Технології очищення та збагачення забрудненого атмосферного повітря;</li> <li>6. Технології раціонального використання ґрунтів і збереження їх родючості;</li> <li>7. Технології виявлення і оцінки корисних копалин, їх раціонального екологічно безпечного видобування;</li> <li>8. Перспективні технології агропромислового комплексу та переробної промисловості.</li> </ol>

Закінчення табл. 5.9

1	2	3	4	5
6	Здоров'я людини	Найновіші біо-технології, діагностика і методи лікування найбільш розповсюджених захворювань	Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань	<p>Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Цільові дослідження з питань гармонізації системи «людина – світ» та створення новітніх технологій покращення якості життя;</li> <li>2. Створення стандартів і технологій запровадження здорового способу життя, технології підвищення якості та безпеки продуктів харчування;</li> <li>3. Проблеми розвитку особистості, суспільства, демографія та соціально-економічна політика;</li> <li>4. <i>Геномі технології в біомедицині та сільському господарстві;</i></li> <li>5. <i>Молекулярні біотехнології створення нових організмів та продуктів для сільського господарства, фармацевтичної та харчової промисловості;</i></li> <li>6. <i>Конструювання та технології створення нових лікарських засобів на основі спрямованого дизайну біологічно активних речовин та використання наноматеріалів;</i></li> <li>7. <i>Технології створення молекулярно-діагностичних систем та терапевтичних засобів, ферментних та бактеріальних препаратів.</i></li> </ol>
7	Нові речовини та матеріали	Нові речовини і матеріали	Нові речовини і матеріали	<p>Нові речовини і матеріали:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Цільові дослідження щодо отримання нових матеріалів, їх з'єднання і оброблення;</i></li> <li>2. <i>Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів;</i></li> <li>3. <i>Створення та застосування нанотехнологій і технологій отримання наноматеріалів;</i></li> <li>4. <i>Створення та застосування технологій отримання нових речовин хімічного виробництва.</i></li> </ol>

Таблиця 5.10

**Відповідність найважливіших напрямів наукових досліджень та розробок  
НАН України глобальним проблемам людства**

№ з/п	Глобальна проблема	Напрямок наукових досліджень	Розробки
1	2	3	4
1	Депопуляція і старіння населення	1. Новітні біотехнології для охорони здоров'я, фармакології та АПК	<p>1.1. Клітинні та молекулярні технології для медицини та сільського господарства;</p> <p>1.2. Генноінженерні технології з використанням рекомбінантних білків для діагностики та лікування інфекційних та інших поширених захворювань;</p> <p>1.3. Методи молекулярної діагностики спадкових та злоякісних захворювань;</p> <p>1.4. Нове покоління лікарських препаратів для профілактики та лікування серцево-судинних, неврологічних й інфекційних захворювань;</p> <p>1.5. Створення системи виявлення та моніторингу генетично модифікованих організмів на ринку України;</p> <p>1.6. Створення ефективної системи протидії біоагрозам різноманітного походження, а саме: біобезпека, пов'язана з ліками, епідеміями, проявами біотероризму</p>
2	Нестача продовольства	2. Високопродуктивне сільське господарство	<p>2.1. Генетика і селекція високопродуктивних сільськогосподарських культур і тварин;</p> <p>2.2. Економіко-правові проблеми забезпечення ефективного агропромислового виробництва та розвитку сільських територій;</p> <p>2.3. Якісна і безпечна продукція рослинництва і тваринництва для продуктів харчування і промислової сировини;</p> <p>2.4. Системи дистанційного моніторингу стану ґрунтів і посівів сільськогосподарських культур</p>
3	Екологічні проблеми	3. Рациональне використання природно-ресурсного потенціалу	<p>3.1. Наукове забезпечення ефективних методів і технологій пошуку, суттєвого збільшення розвіданості запасів та екологічно-безпечного видобутку корисних копалин в Україні;</p> <p>3.2. Розробка та впровадження засад екологічної політики держави на принципах сталого розвитку;</p> <p>3.3. Збереження біотичного та ландшафтного різноманіття і подальша розбудова національної екологічної мережі;</p> <p>3.4. Прогнозування змін клімату на системній основі та виконання Україною зобов'язань за Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату;</p> <p>3.5. Проблеми поводження з відходами та розробка і впровадження засад екологічно чистого виробництва</p>



5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Продовження табл. 5.10

1	2	3	4
4	Енергетика та енергозбереження; Вичерпання запасів ряду видів сировини і палива	4.1. Паливно-енергетичний комплекс та енергозбереження  4.2. Ядерна енергетика	4.1.1. Економіко-правове забезпечення розвитку енергетики; 4.1.2. Проблеми інтеграції об'єднаної енергетичної системи України в трансєвропейську енергетичну систему; 4.1.3. Комплексна модернізація комунальної теплоенергетики; 4.1.4. Ефективне використання та подовження ресурсу газотранспортної системи; 4.1.5. Енергоощадні твердотілі джерела світла; 4.1.6. Підвищення надійності та подовження ресурсу енергетичного обладнання та систем; 4.1.7. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії  4.2.1. Подовження ресурсу служби, модернізація, реконструкція ядерних енергоблоків з метою підвищення їх безпеки й ефективної експлуатації; 4.2.2. Створення елементів ядерно-паливного циклу України; 4.2.3. Поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами; 4.2.4. Нові ядерно-енергетичні джерела енергії з високою ефективністю і гарантованою керованістю
5	Відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	5.1. Наноматеріали і нанотехнології  5.2. Інформаційні технології та ресурси  5.3. Нові матеріали, методи їх з'єднання та обробки	5.1.1. Наноструктурні матеріали з заданими властивостями, технологічне обладнання; 5.1.2. Нанoeлектроніка; 5.1.3. Нанохімічні та нанобіологічні технології  5.2.1. Впровадження ґрид-технологій на базі інформаційно-обчислювальної мережі для потреб медицини, фармакології, генетичної інженерії, досліджень у галузі фізики високих енергій та астрофізики; 5.2.2. Теорія, моделі, методи і технічні засоби оптимізації та системного аналізу для вирішення задач транскорислювальної складності (екологія, функціонування ринкової економіки, демографічні процеси); 5.2.3. Розробка конкурентоспроможного програмного забезпечення для комп'ютерних технологій та систем; захист інформації у комп'ютерних системах; 5.2.4. Управління складними системами; методи та засоби підтримки інформаційно-аналітичної діяльності та прийняття рішень державними органами управління; 5.2.5. Розвиток національних інформаційних ресурсів та освоєння світових джерел наукової інформації  5.3.1. Конструкційні металеві та композиційні матеріали для важкого, транспортного, хімічного і енергетичного машинобудування, авіаційної та космічної техніки; 5.3.2. Функціональні матеріали для електроніки, приладобудування та медицини;

Закінчення табл. 5.10

1	2	3	4
			5.3.3. Матеріали для породоруйнівного і ріжучого інструменту 5.3.4. Матеріали для джерел струму і водневої енергетики; 5.3.5. Ресурсо- та енергозберігаючі технології виробництва і з'єднання матеріалів; 5.3.6. Інженерія поверхні; 5.3.7. Методи і засоби технічної діагностики матеріалів і конструкцій тривалої експлуатації (мости, газотранспортні системи, ємності для нафто- та газозбереження); 5.3.8. Сорбційні матеріали широкого призначення; 5.3.9. Речовини та матеріали для побутової хімії та харчової промисловості
		5.4. Машинобудування та приладобудування	5.4.1. Виробництво сучасної ракетно-космічної та авіаційної техніки, суден і електровозів нового покоління; 5.4.2. Диспетчерські системи, системи локації в різних середовищах; 5.4.3. Побутова і комунальна електронна техніка та технологічні процеси виготовлення її елементів; 5.4.4. Лазерна техніка та обладнання, технологічні процеси їх застосування; 5.4.5. Діагностичні та лікувальні програмно-технічні комплекси; 5.4.6. Бурове нафтогазове обладнання

У цьому переліку (табл. 5.10) за напрямком наукових досліджень «Наноматеріали і нанотехнології» було визнано за пріоритетні розробки у таких сферах, як: «Наноструктурні матеріали з заданими властивостями, технологічне обладнання»; «Наноелектроніка»; «Нанохімічні та нанобіологічні технології», крім того курсивом виділено ті напрямки досліджень і розробок, в яких використання нанотехнологій та нанопродуктів буде мати найбільш помітний позитивний ефект.

У провідних країнах – технологічних лідерах світу (зокрема у США, Японії, Німеччині, що посідають перші три місця у світовій нанотехнологічній гонці, а також загалом в ЄС та Росії) велику увагу уряди приділяють вибору і достатньому фінансуванню пріоритетних напрямів розвитку **нанотехнологій** як основної базисної технології нового технологічного укладу, що активно формується у цих країнах. Так, «Національна нанотехнологічна ініціатива» у США сьогодні включає 11 цілей і пріоритетів, що постійно переоцінюються; Стратегією розвитку нанотехнологій у Японії визначено сьогодні 10 пріоритетів; міжгалузєва програма «Наноініціатива 2010» у Німеччині має 7 пріоритетів; 6-та і 7-ма Рамкові програми ЄС та Європейська стратегія розвитку нанотехнологій до 2013 р. визначили 3 основних напрями (6-та програма) та ще

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

---

3 перспективних напрями створення європейських спільних платформ (7-ма програма) у нанодослідженнях; *Федеральна цільова програма «Розвиток інфраструктури наноіндустрії у РФ на 2008 – 2010 рр.»* та *Стратегія розвитку наноіндустрії в РФ* (перший етап – 2007 – 2011 рр.) визначили 8 основних напрямків нанодосліджень в Росії.

У 2003 р. Національна Академія Наук України (НАНУ) започаткувала цільову комплексну програму фундаментальних досліджень «*Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології*» (ЦКПФД) за 13-ма (з 2007 р. – за 14-ма) напрямами теоретичного та експериментального вивчення наносистем та з 4-х розділів: «*Фізика та діагностика нанорозмірних систем*», «*Хімія наноматеріалів та наноструктур*», «*Технології наноматеріалів*», «*Біонаносистеми*» [14], а з 2010 р. почала виконуватись *Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр.* (ДЦНТП) у 9-ти найважливіших напрямках нанодосліджень [30 – 31].

У *табл. 5.11* наведено співставлення основних пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в цих країнах з глобальними проблемами людства [46 – 54].

Як видно з *табл. 5.11*, напрямки нанодосліджень і відповідних інноваційних рішень у провідних країнах світу практично збігаються. Причому основні дослідження ведуться поки що в напрямках створення і вдосконалення технологічної бази наноіндустрії, що в майбутньому дозволить створити достатній технологічний рівень для вирішення на новому якісному рівні таких проблем людства, як: депопуляція і старіння населення; нестача продовольства; екологічні проблеми і захист навколишнього середовища.

Слід зазначити, що в Україні неодноразово намагались провести прогнозування найбільш перспективних з точки зору комерціалізації напрямів науково-технічних досліджень у сфері нанотехнологій. Так, в результаті виконання «*Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку у 2004 – 2006 рр.*» було визначено перелік актуальних напрямів інноваційної діяльності, зокрема у сфері нанотехнологій, найбільш результативних у *середньостроковій перспективі* (до 5 років), а також перелік найбільш важливих досліджень, в тому числі нанодосліджень, які можуть серйозно вплинути на економічний і соціальний розвиток України у *довгостроковій перспективі* (15 – 20 років) [23 – 24, 41]. Саме в той період, у 2006 р., в рамках Національної нанотехнологічної ініціативи США також було проведено опитування експертів на тему коротко-, середньо- і довгострокових нанотехнологічних програмних пріоритетів і можливої тематики проектів НДДКР [48, С.127]. У *табл. 5.12* наведено співвідношення коротко-, середньо- і довгострокових пріоритетів нанодосліджень у США і в Україні та відповідність їх глобальним проблемам людства.

Таблиця 5.11

## Співставлення основних пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в США, Японії, Німеччині, а також в ЄС, Росії та в Україні з глобальними проблемами людства

№ з/п	Глобальна проблема людства	США, «Національна нанотехнологічна ініціатива (NNI)»	Японія, «Стратегія розвитку нанотехнологій»	Німеччина, «Наноініціатива 2010»	ЄС, 6-та і 7-ма Рамкові програми	Росія, ФЦП «Розвиток інфраструктури наноіндустрії у РФ на 2008 – 2010 рр.»	Україна	
							ЦКПФД «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології»	ДЦНТП «Нанотехнології та наноматеріали» 2010 – 2014 рр
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Депопуляція і старіння населення	1. Нанобіосистеми і медицина; 2. Проблеми охорони здоров'я	1. Нанобіологія	1. Нанобіологія	1. Інтегрування нанотехнологій для підвищення якості й безпеки життя; 2. Європейська платформа в наномедицині	1. Нанобіотехнології	1. Біонаносистеми: 1. Біонаноматеріали: синтез та властивості	–
2	Нестача продовольства	–	– « – –	– « – –	1. Біотехнології	– « – –	– « – –	–
3	Екологічні проблеми	1. Проблеми екології, розробка інструментарію для досліджень в сфері екології та токсичності	1. Наноматеріали для захисту навколишнього середовища	–	1. Створення систем контролю за небезпечною і відходами виробництва; 2. Виявлення небезпечного впливу нанотехнологій на людину та довкілля	–	–	1. Наноматеріали та нанотехнології для захисту навколишнього природного середовища
4	Енергетика та енергозбереження;	–	1. Наноматеріали для енергетики	–	–	1. Функціональні наноматеріали для енергетики	–	1. Нанотехнології для енергетики

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Продовження табл. 5.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фундаментальні дослідження наomasштабних явищ і процесів;</li> <li>2. Проектування ієрархічно структурованих матеріалів і ефективне нановиробництво;</li> <li>3. Дослідження наноструктур і складних наносистем;</li> <li>4. Силіконова наноелектроніка;</li> <li>5. Нанонструменти, метрологія і стандарти</li> <li>6. Освіта і соціальні проблеми розвитку нанотехнологій</li> <li>7. Проблеми безпеки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Моделювання наноматеріалів;</li> <li>2. Нанообробка, формування і технології виготовлення;</li> <li>3. Технології синтезу речовин і матеріалів;</li> <li>4. Нові матеріали з контролюваною наноструктурою;</li> <li>5. Нанопристрої і датчики;</li> <li>6. Наноелектронічні системи (NEMS) та їхні технології;</li> <li>7. Технології вимірювання нанорозмірного діапазону нанорозмірному аналізу;</li> <li>8. Нанонауки для безпечного і стабільного суспільства</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наноелектроніка;</li> <li>2. Наноматеріали;</li> <li>3. Оптика;</li> <li>4. Мікросистеми;</li> <li>5. Комунікації</li> <li>6. Інше</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Міждисциплінарні фундаментальні дослідження нових явищ, що обумовлені розміром наноструктур;</li> <li>2. Фундаментальні й прикладні дослідження багатofункціональних матеріалів, дизайн і технології їх виготовлення;</li> <li>4. Створення інтелектуальних систем виробництва матеріалів і пристроїв, гібридних матеріалів;</li> <li>5. Створення європейської платформи в наноелектроніці;</li> <li>6. Системи безпеки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наноелектроніка;</li> <li>2. Композитні наноматеріали;</li> <li>3. Нанонінженерія;</li> <li>4. Функціональні наноматеріали для космічної техніки;</li> <li>5. Конструкційні наноматеріали;</li> <li>6. Нанотехнології для систем безпеки</li> </ol>	<p><i>II. Фізика та діагностика нанорозмірних систем:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нанofізика і наноелектроніка;</li> <li>2. Діагностика наносистем;</li> <li>3. Електронна, атомна будова і властивості наноструктурних матеріалів;</li> <li>4. Фізика напівпровідникових наноструктур.</li> </ol> <p><i>III. Хімія наноматеріалів та наноструктур:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Синтез і формування наноструктур;</li> <li>2. Колоїдні нанорозмірні системи;</li> <li>3. Атомно-молекулярна архітектура наноструктур</li> <li>4. Фізико-хімія поверхневих явищ, супрамолекулярна хімія.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отримання нових знань щодо особливостей фізичних, хімічних, біологічних і більш складних процесів синтезу та атомного складання наносистем;</li> <li>2. Наноелектроніка;</li> <li>3. Нанонінженерія;</li> <li>4. Функціональні, конструкційні наноматеріали;</li> <li>5. Колоїдні нанотехнології;</li> <li>6. Нанотехнології для каталізу та хімічної промисловості;</li> <li>7. Нанотехнології спеціального призначення;</li> </ol>

Закінчення табл. 5.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
							<p><i>IV. Технології наноматеріалів:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технологія багатofункціональних матеріалів;</li> <li>2. Фізика і технологія наноматеріалів в екстремальних умовах;</li> <li>3. Тонкоплівні нанотехнології з'єднання неорганічних матеріалів;</li> <li>4. Інформаційне забезпечення робіт з вказаних проблем</li> </ol>	

Таблиця 5.12

## Співвідношення пріоритетної тематики нанодосліджень у США і в Україні та відповідність їх глобальним проблемам людства у 2006 р.

№ з/п	Глобальна проблема людства	Пріоритетна тематика у США					Пріоритетні теми в Україні		
		Короткострокові (1 – 5 років)	Середньострокові (5 – 10 років)	Довгострокові (10 – 20 років)	Середньострокові (до 5 років)	Довгострокові (15 – 20 років)			
1	2	3	4	5	6	7	1. Розробка нанобіотехнологій і розвиток матеріалознавства для медицини (біоматеріали, сумісні з людським організмом)	2. Розробка нових приладів, пристроїв діагностичних систем	
1	Депопуляція і старіння населення	1. Мобільне медичне діагностичне устаткування	1. Цільова лікарська терапія; 2. Ефективна медична візуалізація	1. Постачання лікарських препаратів через клітинні стінки; 2. Нейронне протезування при лікуванні паралічів, сліпоті тощо	1. Освоєння нанотехнологій в медичній діагностиці, у тому числі для рентгеновських томографів				
2	Нестача продовольства	–	–	–	–	–			
3	Екологічні проблеми	1. Наномембрани і фільтри для очищення й опріснення води	1. Технології із зв'язування вуглецю при очищенні емісії	–	–	–			
4	Енергетика та енергозбереження	1. Перезаряджальні батареї із тривалим терміном дії	1. Високоєфективні сонячні елементи (фотоелементи) за доступними цінами; 2. Удосконалені паливні елементи; 3. Ефективні технології для одержання водню з води	1. Перетворення енергії термічних і хімічних джерел	1. Створення наноструктурних композитів альтернативної енергетики, наприклад, сонячні батареї, суперконденсатори, оксидні паливні осередки				

Закінчення табл. 5.12

1	2	3	4	5	6	7
5	Відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	<p>1. Нанокомпозиційні матеріали з високим співвідношенням міцність / вага, покращеними показниками твердості й інших характеристик;</p> <p>2. Удосконалені каталізатори, що зменшують вміст дорожчих металів в емульсіях;</p> <p>3. Швидкореагуючі, селективні, надійні надрпровідникові хімічні й біологічні сенсори</p>	–	1. Молекулярна електроніка	1. Освоєння нанотехнології в оптоелектроніці	1. Розробка нанороботів (наноботів), у тому числі для хірургічних операцій у судинах і окремих клітинах організму



Вказані дослідження були продовжені фахівцями УкрІНТЕІ в рамках виконання *Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку України на 2008 – 2012 рр.*, [25 – 26, 42]. За результатами опитувань експертів було визначено за пріоритетним напрямом «Нанотехнології та нові матеріали» 16 нанотехнологій (що становить 27% всіх відібраних), які в першу чергу викликають інтерес у підприємців і промисловців. З переліку цих технологій Науково-технічна рада Державної програми схвалила **6** технологій як **критичні**.

У *табл. 5.13* наведено співставлення прогнозу реалізації критичних технологій у США і Японії на 20 років, що був зроблений у 2006 р., та переліку критичних технологій за напрямом «Нанотехнології та нові матеріали», визначеного експертами в Україні [48, с. 214 – 219], а також визначено відповідність їх глобальним проблемам людства.

З даних *табл. 5.13* видно, що з відібраних українськими експертами 16 нанотехнологій, що мають потенціал комерціалізації і викликають інтерес у підприємців, навіть ті 6 критичних технологій, які можуть претендувати на бюджетне фінансування, задовольняють деякі потреби у вирішенні тільки двох глобальних проблем людства – депопуляція і старіння населення та перехід до нового технологічного укладу. Такі проблеми, як нестача продовольства; екологічні проблеми і захист навколишнього середовища; вичерпання природних ресурсів і нова енергетика, залишаються поза увагою українських науковців.

### Висновки

1. Реалізація державних програм у сфері нанотехнологій дозволила *визначити інтелектуальний потенціал українських вчених у розвитку нанотехнологічних досліджень та потенціальні можливості їх комерціалізації;*

2. На найвищому державному рівні в Україні розвиткові досліджень і розробок у сфері нанотехнологій, як до *ключових факторів* у найближчому майбутньому не приділяють відповідної уваги. Про це свідчить динаміка фінансування програм з розвитку нанотехнологій;

3. Визначення пріоритетів нанотехнологічних досліджень носить *безсистемний характер, слабо пов'язане з вирішенням глобальних і специфічних проблем України*, не відповідає пріоритетам бюджетного фінансування;

4. Комплексна програма фундаментальних досліджень «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр. та Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. *не мають загальнонаціонального характеру і не вирішують завдання подолати стратегічне відставання України у сфері нанотехнологій та відновлення паритетного становища з розвиненими країнами;*

Таблиця 5.13

## Співвідношення прогнозу критичних технологій у США і Японії на 20 років з прогнозним переліком критичних нанотехнологій, найбільш перспективних для комерціалізації в Україні у 2008 – 2012 рр.

№ з/п	Глобальна проблема	Прогнозні критичні технології у США та Японії на 20 років			Перспективні технології в Україні		
		Напрямок	Сфера застосування	Терміни появи та масової реалізації	Критичні	Інші перспективні	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Депопуляція і старіння населення	1. Діагностичні системи на основі біочіпів, що можуть з високою точністю діагностувати схильність до захворювання раком та інш. й забезпечувати інформацією про необхідну обробку протягом дуже короткого часу; 2. Створення систем наносів, керованих ззовні й здатних доставляти ліки й гени в задані клітини в тілі людини	Нанотехнологія матеріалів, нанобіологія	2012 – 2020  2013 – 2022	1. Методи отримання наночасток із функціональною поверхнею, придатною для приєднання антитіл; 2. Технологія створення флуоресцентних нанозондів для моніторингу фізіологічного стану біологічних об'єктів	–	
2	Нестача продовольства	–	–	–	–	–	
3	Екологічні проблеми	1. Виробництво водню за допомогою фотокаталітичного розкладання води під дією сонячного світла	Нанотехнологія матеріалів, матеріали енергетики, що є екологічно безпечними	2013 – 2022	–	–	
4	Енергетика та енергозбереження	1. Великогобаритні сонячні батареї на основі аморфного кремнію з ефективністю більше 20%	Нанотехнологія матеріалів, нові матеріали з контролем на нанорівні	2012 – 2020	–	–	

## 5. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні

Закінчення табл. 5.13

1	2	3	4	5	6	7
5	Відставання від провідних країн світу в ході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	<ol style="list-style-type: none"> <li>Надпрецизійні технології з погіршенням в ангстрем, що досягається з використанням нових променевих технологій (іонна, електронна, лазерна);</li> <li>Технології формування з нанометровою точністю;</li> <li>Технології тривимірного атомно-молекулярного збирання;</li> <li>Технології збирання і створення устаткування із надмалим зношенням;</li> <li>Технології виготовлення матеріалів з інноваційними функціями і властивостями із застосуванням керованих маніпуляцій на нанорівні атомно-молекулярного збирання або структури матеріалу</li> <li>Розробка нових систем озброєння і безпеки на основі нанотехнологій</li> </ol>	<p>Виробництво, нанобробка, мікрообробка матеріалів;</p> <p>Нанотехнологія матеріалів, нанобробка;</p> <p>Нанотехнологія матеріалів</p> <p>Нанотехнологія, нанобробка, нанозбирання</p> <p>Нанотехнологія, нанобробка, нанозбирання</p>	<p>2012 – 2018</p> <p>2012 – 2019</p> <p>2013 – 2020</p> <p>2013 – 2021</p> <p>2018 – 2028</p> <p>2013 – 2020</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Застосування гідротермального способу отримання нанопористого вуглецю при високому тиску;</li> <li>Використання потужного лазерного випромінювання для цілеспрямованої модифікації нанопористих матеріалів <math>TiO_2, SiO_2</math>;</li> <li>Дослідно-виробнича технологія виготовлення вуглецевих наноструктурних композитів;</li> <li>Оптимізована технологія отримання наноструктур на основі сполук AlIVBVI для пристроїв нового покоління</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Нанокompозиційні градієнтні композиційні покриття (гальванопорошкова металурія);</li> <li>Порошкова металурія з використанням нанотехнологій;</li> <li>Технологія отримання плівкових наноструктурних 0D, 1D, 2D надпровідникових матеріалів;</li> <li>Відновлення металевих оксидів нанорозмірним порошком карбиду кремнію;</li> <li>Отримання оптичної кераміки, нанокompозитів із люмінісцентних наночасток методами пресування та синтезу в матрицях;</li> <li>Дослідно-виробнича технологія виготовлення вуглецевих наноструктурних композитів;</li> <li>Технологія виробництва оксидних нанопорошків та керамічних виробів для роботи в агресивних середовищах;</li> <li>Одержання і застосування наноматеріалів на основі діоксиду титану</li> </ol>

5. Існуюча практика визначення загальнодержавних пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні тільки у 2011 р. набула більш-менш конкретних форм. Затверджені у 2011 р. пріоритети мають більш чіткі форми, але *їх все ще забагато для того, щоб сконцентрувати невеликі обсяги бюджетних коштів на дійсно найважливіших напрямках досліджень*, що покликані вирішувати нагальні проблеми людства і специфічні проблеми, які стоять перед Україною;

6. *Визначення державою пріоритетних напрямів наукових досліджень у сфері нанотехнологій відповідно до найважливіших (глобальних) проблем людства*, які безпосередньо відносяться й до України, надасть можливість управління відповідними дослідженнями, дозволить раціонально витратити бюджетні кошти саме на вирішення найболючіших проблем суспільства, а не потурати науковим закладам, що нав'язують державі свою тематику досліджень, до якої вони вже звикли за багато років і яка, зазвичай, вже мало відповідає потребам і держави, і суспільства;

7. Необхідна розробка *Стратегії розвитку нанотехнологій в Україні* у відповідності з глобальними проблемами людства, створення *Національної програми розвитку нанотехнологій в Україні*, в якій будуть ув'язані чіткі пріоритети наукових досліджень, забезпечення фінансуванням (за етапами робіт), організаційна підтримка держави, механізми впровадження у підприємницький сектор, критерії результативності заходів та підзвітність відповідальних виконавців перед урядом (за бюджетні кошти) та підприємцями (за позабюджетні кошти);

8. Існує необхідність у створенні *Консультативних робочих груп* як із співробітників НАН України та інших наукових закладів, так і за участі незалежних експертів, які мають певний досвід роботи у визначеному напрямку досліджень, для аналізу поточного виконання програм розвитку нанотехнологій, складання прогнозів і уточнення пріоритетів розвитку нанотехнологій в Україні.

## Загальні висновки

---

Нанотехнологічна революція прискорить перехід до постіндустріального етапу розвитку суспільства, в якому будуть домінувати розвинені країни, а також ті країни, що зроблять своєю пріоритетною метою створення економіки випереджального розвитку. Прогнозні соціально-економічні наслідки нанотехнологічної революції можна представити на *рис. 5.1* [55, с. 477]. Базові позитивні ефекти застосування нанопродуктів за секторами ринку наведено у додатку Д [56, с. 302 – 305].

У сучасних умовах розгортання нанотехнологічної революції, що за масштабами і наслідками втручання людини на атомарному рівні в природні процеси перевищує усі попередні революції, створюючи на цій основі нову наукоємну економіку XXI століття, постає проблема оцінки впливу нанотехнологій на перспективи розвитку різних галузей економіки та вибір пріоритетних напрямів розвитку і комерціалізації нанотехнологій в Україні.

Пріоритети існуючих програм розвитку нанотехнологій в Україні потребують уточнення відповідно до проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, в тому числі і з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення нанотехнологічних досліджень. Крім того, порівняно низька результативність виконання цих програм у попередні роки з погляду комерціалізації результатів досліджень, невизначеність у методологічному й методичному плані щодо формування організаційно-економічного механізму забезпечення розвитку і комерціалізації нанотехнологій в Україні суттєво уповільнюють формування шостого технологічного укладу і не дозволяють швидко й ефективно підвищити конкурентоспроможність й інвестиційну привабливість держави у світі та реформувати на цій основі українську економіку в цілому.

Усе це обумовлює актуальність, наукову й практичну значимість проведення досліджень для розв'язання проблеми розробки наукового обґрунтування визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в Україні у відповідності з їх перспективними напрямками в країнах світу, послідовності етапів розвитку і комерціалізації нанотехнологій, а також розробки теоретичних положень й методичних підходів щодо обґрунтування організаційно-економічного механізму забезпечення науково-технічних досліджень і комерціалізації нанотехнологій в Україні та реформування на цій основі її економіки.

На *рис. 5.2* наведено структурно-логічну схему наукового дослідження.

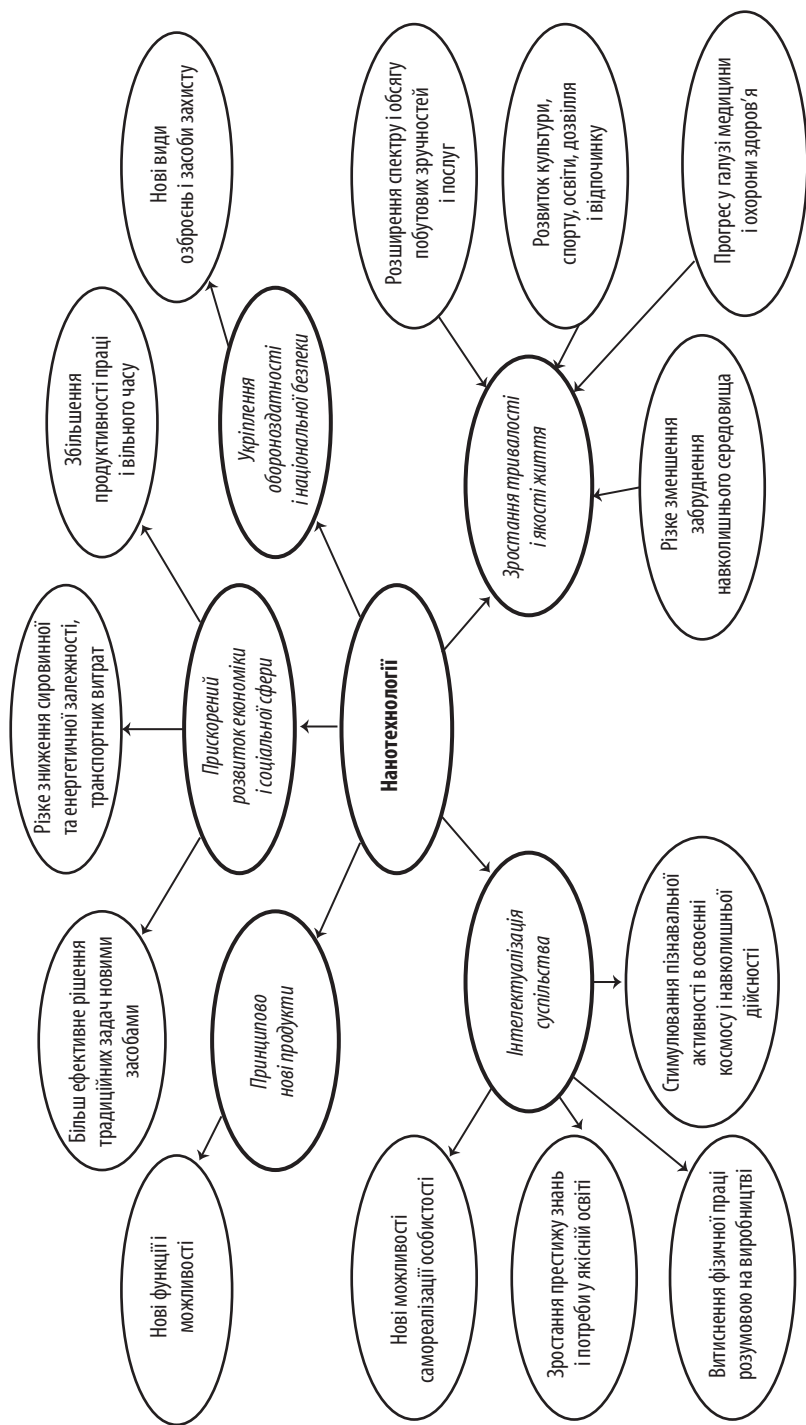


Рис. 5.1. Прогнозні соціально-економічні наслідки нанотехнологічної революції

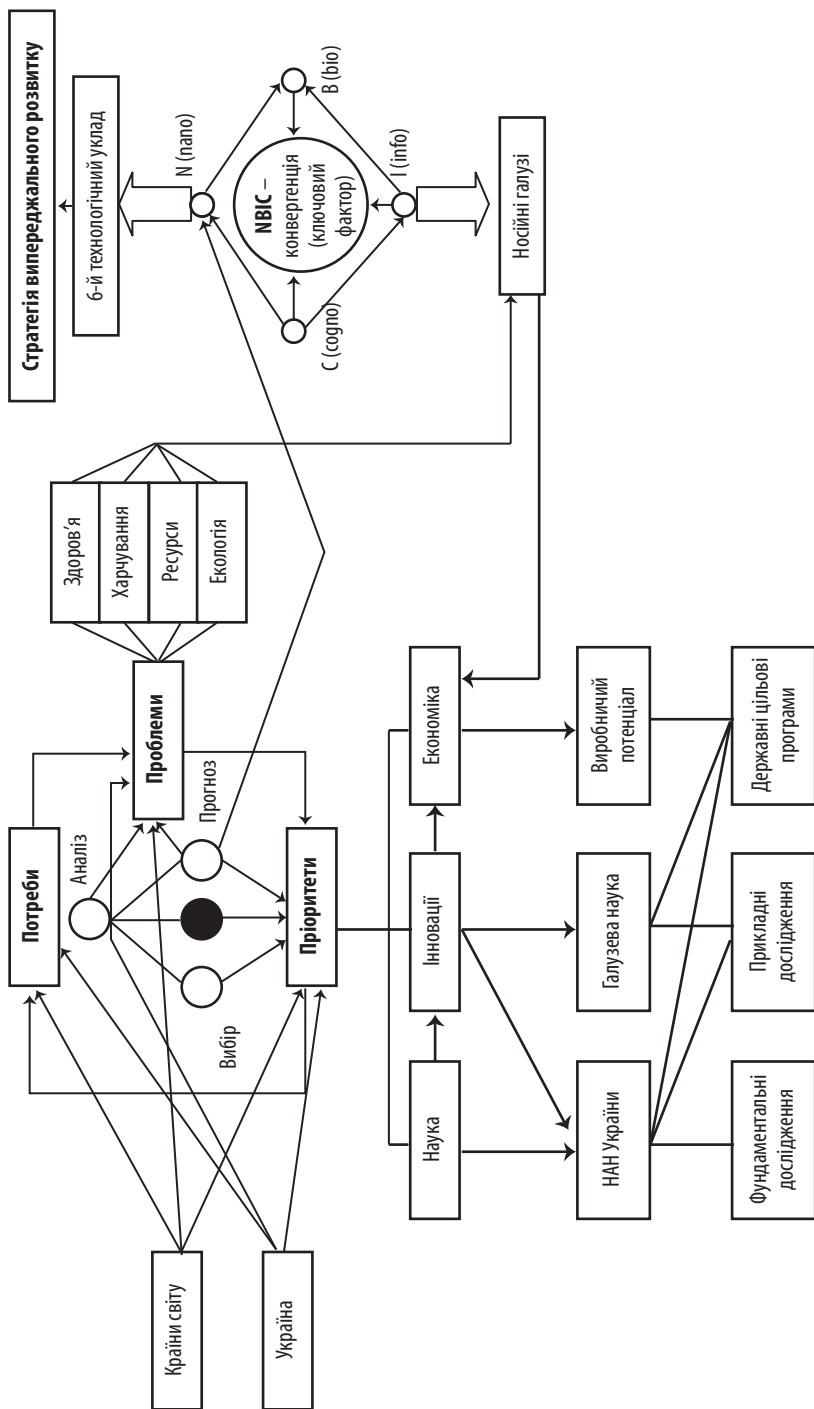


Рис. 5.2. Структурно-логічна схема наукового дослідження

Соціальна значущість досліджень полягатиме у визначенні пріоритетних напрямів науково-технічних досліджень і використання нанотехнологій в Україні, що сприятимуть прискореному розвитку соціальної сфери за рахунок підвищення продуктивності праці при використанні в економіці результатів нанотехнологічних досліджень; інтелектуалізації суспільства за рахунок нових можливостей самореалізації особистості, зростання престижності і задоволеності якісної освіти; зростанню довготривалості і якості життя за рахунок прогресу в галузі медицини й охорони здоров'я, значного зменшення забруднення навколишнього середовища; розширенню спектра і обсягу побутових послуг.

Економічний ефект від досліджень буде визначатися розробкою теоретичних положень й методичних підходів щодо обґрунтування організаційно-економічного механізму забезпечення науково-технічних досліджень і комерціалізації нанотехнологій України та реформування на цій основі її економіки.

Автори вважають за доцільне продовження вказаних досліджень за схемою, вказаною на рис. 5.2. У результаті виконання досліджень буде розроблено:

- теоретичні положення та науково-практичні рекомендації щодо комплексного аналізу пріоритетних напрямів науково-технічних досліджень у сфері нанотехнологій у провідних країнах світу та в Україні;
- теоретико-методологічні засади та методичні положення щодо визначення змісту, послідовності етапів та прогнозу комерціалізації нанотехнологій в Україні;
- методичний підхід та науково-практичні рекомендації щодо визначення та комплексної оцінки потенціалу підприємств України по комерціалізації нанотехнологій.

Крім того, дуже важливо створити в Україні систему довгострокового прогнозування і стратегічного планування науково-технічного і інноваційного розвитку. При цьому, перш за все, необхідно оцінити наявність в Україні провідних досліджень і розробок в області NBIC-технологій, а також визначити можливість їх комерціалізації і вплив на економічний розвиток країни.

Основою стратегічного планування науково-технічного й інноваційного розвитку повинні бути цільові програми, які забезпечать ефективне використання коштів, що виділяються на вказані цілі. У свою чергу, в основі вказаних цільових програм повинні бути проекти різної значущості: національні, регіональні або локальні. Сполучення програмно-цільового і проектно-орієнтованого підходів забезпечить практичне втілення цільових програм за кожним з пріоритетних напрямів науково-технічного і інноваційного розвитку.



## Література

1. Бойко Н. М. Особливості розвитку нанотехнологій в Україні / Матеріали XV міжнародної научно-практичної конференції «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки: Регіональне інноваційне розвиток: політика, управління, законодавство», 13 – 18.09.10, Алушта, 2010. – С. 28 – 31.
2. Малишев В. Майбутнє – за нанотехнологіями // Газета «Університет «Україна». – 2007. – № 9 – 10.
3. Таланчук П., Малишев В. Становлення й розвиток нанотехнологій у світі і в Україні: використання інтелектуального капіталу, тенденції розвитку // Газета «Університет Україна», 2009. – №10 – 11.
4. Чекман І. С. Нанонаука: перспективи наукових досліджень // Наука та інновації. – 2009. Т.5, №3. – С.89 – 93.
5. Ковальчук М. В. Нанотехнологии – фундамент новой наукоемкой экономики. Новые возможности СНГ в XXI веке // Наука та інновації. – 2008. – Т. 4, №1. – С. 5 – 28.
6. Сідненко М. В. Нанотехнології як пріоритетний напрямок державної інвестиційної політики / Матеріали конференції «Україна наукова» (20–22 грудня 2007 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://intkonf.org/sidnenko-mv-nanotechnologiyi-yak-prioritetniy-napryamok-derzhavnoyi-investitsiyanoi-politiki/> – Назва з екрану.
7. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про міжвідомчу науково-технічну програму «Нанофізика та наноелектроніка» від 14.04.2001 р. № 85-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.portal.rada.gov.ua>
8. Нанотехнології – основа науково-технічної революції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://naukainform.kpi.ua/Lists/List4/DispForm.aspx?ID=7>
9. Богорош А. Т., Воронов С. А. Стратегия инновационного развития Украины: перспективы использования нанотехнологий / Матеріали XIV Міжнародної научно-практичної конференції «Проблеми і перспективи інноваційного розвитку економіки в контексті преодоління мирового фінансового кризиса», 14 – 19.09.09. – Симферополь: ФПЛ Бражнікова Н. А., 2009. – С. 202 – 208.
10. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г. О.Андрощук, А. В. Якимчук, Н. В. Березняк та ін.: монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.

11. Международная украинско-российская научно-техническая программа «Нанофизика и нанoeлектроника» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nauka.kiev.ua>

12. Богорош А. Т., Соловьев В. П., Воронов С. А. Современная стратегия развития и интеграции науки в сфере новых веществ и материалов / Проблемы и перспективы инновационного развития экономики. Материалы XIII международной научно-практической конференции по инновационной деятельности, Киев – Симферополь – Севастополь, 2008. – С. 207 – 210.

13. Закон України «Про Загальнодержавну комплексну програму розвитку високих наукоємних технологій» від 09.04.2004 р. №1676-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2004. – № 32.

14. Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямками у період 2003 – 2006 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nanotech.nas.gov.ua/2003\\_2006/Pages/default.aspx](http://www.nanotech.nas.gov.ua/2003_2006/Pages/default.aspx)

15. Віннікова Н. М. Стан розвитку програм в сфері нанотехнологій в Україні // Проблемы и перспективы развития экономики. Материалы XVI международной научно-практической конференции (Алушта, Украина, 12 – 16.09.11 г.) – Симферополь: «ИТ АРИАЛ», 2011. – С.199 – 206.

16. Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямками у період 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/01.aspx>

17. Концепція Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології» за напрямками у період 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/01.aspx>

18. Постанова НАНУ № 129 від 05.05.2010 «Про виконання цільової програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології» за 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nauka.kiev.ua/index.php/ru/men35/men352>

19. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2006 році, Ч. 2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2007. – 198 с.

20. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2007 році, Ч. 2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2008. – 184 с.

21. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2008 році, Ч. 2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2009. – 218 с.

22. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2009 році, Ч. 2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2010. – 192 с.

23. Маліцький Б. А., Попович О. С., Соловійов В. П. Перспективні напрями науково-технічного та інноваційного розвитку України. – К.: Фенікс, 2006. – 208 с.

24. Зведений прогноз науково-технологічного та інноваційного розвитку України на найближчі 5 років та наступне десятиліття. – К.: Фенікс, 2007. – 152 с.

25. Кваша Т. К. Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2009 рр.: підсумки 2008-го /Т. К. Кваша, Л. А. Мусіна, Т. В. Писаренко // Світ. – 2009. – №17–18.

26. Якимчук А. В., Кваша Т. К. Результати виконання I етапу Державної програми прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2012 рр./ А. В. Якимчук, Т. К. Кваша // Матеріали П'ятої міжнародної науково-практичної конференції 2–3 квітня 2009 р.: 36.наук. статей. – Львів: ЛьВЦНТЕІ, 2009. – С. 70 – 74.

27. Концепція цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/>

28. Структура цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/nanoprogramms/Pages/WorkingGroup.aspx>

29. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2010 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2011. – 194 с.

30. Постанова КМУ від 28.10.09 р. № 1231 «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=1231-2009-%EF>.

31. Концепція Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/nanoprogramms/Pages/WorkingGroup.aspx>.

32. Наноматеріали і нанотехнології з переліку завершених розробок установ НАН України, створених у рамках реалізації найважливіших напрямів нау-

кових досліджень і розробок/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nano.nas.gov.ua/Activity/InnovationActivity/Documents/5\\_1.pdf](http://www.nano.nas.gov.ua/Activity/InnovationActivity/Documents/5_1.pdf).

33. Розпорядження Президії НАН України №524 від 20.08.2010 р. «Про затвердження на 2010 рік переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/nas/2010/directions/Pages/524.aspx>

34. Розпорядження №102 від 17.02.2011 р. «Про затвердження на 2011 рік переліку наукових проектів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/nas/2011/directions/Pages/102.aspx>.

35. [spnano2010.ua/Проекти](http://spnano2010.ua/)

36. Інформація про створення науково-освітнього центру «Наноелектроніка і нанотехнології» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nauka.kiev.ua/index.php/uk/news/54-cat21/70-mat211>

37. МЕМО/10/229 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ec.europa.eu/research>

38. Матюшенко І. Ю. Співвідношення глобальних проблем людства, пріоритетів науково-технічної діяльності та національних проектів в Україні / Научный информационный журнал «Бизнес Информ». – 2011. – № 4. – С.7 – 11.

39. Закон України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності» від 13 грудня 1991 року № 1977 // Збірник законодавчих і нормативних актів України в сфері науки і науково-технічної діяльності. – К.: УкрІНТЕІ, 1997. – С. 1630.

40. Закон України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 року № 2623-III // Відомості Верховної Ради України, 2001. – № 48. – С. 253

41. Маліцький Б. А., Попович О. С., Онопрієнко М. В. Обґрунтування системи науково-технологічних та інноваційних пріоритетів на основі «форсайтних» досліджень. – К.: Фенікс, 2008. – 86 с.

42. Постанова Кабінету Міністрів України «Про Державну програму прогнозування науково-технологічного розвитку в Україні на 2008 – 2012 рр.» від 11.09.2007 р. №1118

43. Закон України «Про внесення змін до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 01 червня 2010 року № 2296-VI.

44. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року» від 07 вересня 2011 року № 942 // Урядовий кур'єр, № , 2011.

45. Постанова Бюро Президії НАН України від 31.01.08 №23 «Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.nas.gov.ua/infrastructure/ Legaltexts/ Research Topics/2008](http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/Research%20Topics/2008)

46. Киселев В. Н. Инновационная политика в области нанотехнологий: опыт США и ЕС / В. Н. Киселев, Д. А. Рубвальтер, О. В. Руденский [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.portalnano.ru/print/ms/ip>

47. Рагуля А. В., Крячек В. М. Развитие нанонаук и нанотехнологий в Украине на перспективу до 2020 г. // Наука і наукознавство. – 2006. – № 3. – С. 43 – 49.

48. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г. О. Андрощук, А. В. Якимчук, Н. В. Березняк та ін.: монографія. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.

49. Матюшенко И. Ю. Общие перспективы развития нанотехнологий / Социально-экономическое развитие Украины и ее регионов: проблемы науки и практики 2011: Монография. – Х.: ФЛП Александра К. М., ИД «ИНЖЭК», 2011. – С. 79 – 128.

50. Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в Україні / Ліберманівські читання 2011: економічна спадщина та сучасні проблеми: Монографія. – Х.: ФОП Павленко О. Г., ВД «ІНЖЕК», 2011. – С. 306 – 331.

51. Матюшенко И. Ю., Вовк В. А., Моисеенко Ю. М. Перспективы развития нанотехнологий в России / Научный информационный журнал «Бизнес Информ». – 2011. – №6. – С. 17 – 25.

52. Матюшенко И. Ю., Моисеенко Ю. М. Направления развития нанотехнологий в странах Евросоюза и Японии / Научный информационный журнал «Бизнес Информ». – 2011. – №7(2). – С. 43 – 50/

53. Матюшенко И. Ю., Моисеенко Ю. М. Развитие нанотехнологий в США / Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, Алушта, 12 – 16 сентября 2011 г. / НАНУ, Центр исследований научно-технического потенциала и истории науки им. Г. М. Доброва НАН Украины, Творческий союз НИО Крыма. – Симферополь: «ИТ АРИАЛ», 2011 – С. 424 – 443.

54. Матюшенко І. Ю. Проблема визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в рамках пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / Науковий журнал «Проблеми економіки». – 2011. – №2. – С.14 –25

55. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.

56. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев [и др.]; под ред. Г. Л. Азоева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.

## Додатки

### Додаток А

Таблиця А.1

#### Приклади застосування наноматеріалів, представлених на світовому ринку, в основних індустріальних секторах економіки

№ з/п	Сектор	Типи наноматеріалів					Нанокомпозити
		Нанорозмірні плівки і покриття нанорівня	Тверді наночастинки	Наноструктурні монокристалічні матеріали	Полі наночастинки	Нанокомпозити	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Медицина і біотехнології	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Нанопористі мембрани (полімери) для пристроїв очищення води;</li> <li>▪ Нанопористі полімери для покриття окулярів і лінз;</li> <li>▪ Тонкі плівки срібла для антибактеріальних перев'язувальних матеріалів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оксид титану, оксид цинку для сонцезахисних кремів і засобів особистої гігієни;</li> <li>▪ Фосфат кальцію, гідроксид апатиту для синтетичної кісної тканини і зубних імплантатів;</li> <li>▪ Алтамери – лікарські препарати для лікування неоваскулярної вікової дегенерації шкіри;</li> <li>▪ Дендримери у маркерах при вимірюванні серцевої діяльності;</li> <li>▪ Наночастинки золота для засобів імунологічних аналізів і оптичної електронної мікроскопії;</li> <li>▪ Квантові точки (Si, Ge) для засобів аналізу відміченими молекулами;</li> <li>▪ Рідкоземельні нанополііофори для аналізу біологічних структур відміченими молекулами;</li> </ul>	–	–	–	

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7
2	Енергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>Метали платинової групи, оксид алюмінію при виробництві каталітичних конверторів;</li> <li>Полімер для виробництва нанопористих мембран для нафто- і газопереробки;</li> <li>Тонкі плівки платини, паливні елементи (каталізатори енергії з кисню і водню)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дендримери (полегшують впровадження ДНК у клітини) у реактивах для трансфекції у генній інженерії;</li> <li>Колоїдне срібло при виробництві біологічно активних добавок;</li> <li>Оксид заліза (суперпараметричні наночастинки) для засобів магнітної сепарації при аналізах в біології, біохімії, імунології, генетиці;</li> <li>Оксид заліза, контрастні речовини для одержання зображення методом магнітного резонансу;</li> <li>Наночастинки оксиду кремнію (антиоксиданти) при виробництві біологічно активних добавок у їжу з антиоксидантною дією;</li> <li>Масляні наносфери (доставляють біочастинки крізь клітинні оболонки бактерій) для засобів дезінфекції</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Оксид алюмінію для газорозрядних ламп високого тиску;</li> <li>Діоксид кремнію та інші аерогелі з найвищими теплоізоляційними показниками для ізоляційних матеріалів;</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>(поліпропіленові) / монтморилонитові полімери (вогнезахисні склади) для електричних кабелів;</li> </ul>



Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Залізо, нікель, дисульфід кобальту-молібден та інші патентовані наночастинки для використання у нафтопереробці;</li> <li>Діоксид титану, квантові точки для геліо-фотогальванічних систем перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну;</li> <li>Титанати барію і стронцію, наночастинки нікелю для створення багатощарових керамічних конденсаторів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Цеоліти для виробництва каталізаторів при крекінзі (переробці) нафти;</li> <li>Сополімери з сульфатованого тетрафлуороетилену для іонообмінних мембран (PEMFC і DEMC) для паливних елементів</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Етиленіацетатні полімер/нанотрубки для засобів захисту від статичної електрики;</li> <li>Наномагнітні матеріали (зменшують електромагнітні завади) для виробництва електроніки та електронних пристроїв</li> </ul>
3	Електроніка та інформаційні технології	<ul style="list-style-type: none"> <li>OLED – органічні світлодіоди для плоских панельних дисплеїв;</li> <li>Тонкі плівки наноалюмінію для оптичного запису інформації;</li> <li>Тонкі плівки зі сплавів Сг і Со для жорстких дисків і голівки при записі й зберіганні інформації («вічні носії»);</li> <li>Тонкі плівки оксиду заліза і алюмінію для магнітного запису інформації високої щільності;</li> <li>Діоксид кремнію для оболонки оптоволоконних кабелів;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Кольорові барвники, чорнила й пігменти (фарби для струминних принтерів, що не забруднюють друкувальну голівку);</li> <li>Діоксид кремнію, оксид алюмінію і суміші на основі діоксиду кремнію для полірування жорстких дисків в П;</li> <li>Оксид заліза для суспензій і феромагнітних рідин для акустичних систем і жорстких дисків в електроніці</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Вуглецеві нанотрубки для наконечників зондів мікроскопів, що скачують (зондова мікроскопія)</li> </ul>	

Закінчення табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Тонкі плівки полімеру для діелектричних покриттів LOW-K;</li> <li>Метали і оксиди, що проводять, для покриттів в екранах променевих трубок та їх корпусів в електроніці</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Полімери для опоряджуваної обробки паперу, тканин і шкіри, покриття для дахівки, адгезиви для липкої стрічки і присадок у фарбах, що зв'язують;</li> <li>Фторовані полімери для обробки тканин і надання їм брудо-, водо-, масловідштовхуючих якостей;</li> <li>Діоксид титану у захисних покриттях від УФ-опромінення для деревини і прозорих автомобільних покриттів;</li> <li>Наночастинки срібла для металопорошкових фільтрів систем очищення повітря;</li> <li>Діоксид титану (гідроксильні радикали) для систем очищення повітря;</li> <li>Оксид алюмінію для систем фільтрації води;</li> <li>Патентовані наночастинки – нейтралізатори небезпечних хімікатів, у тому числі засобів хімічної зброї</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вуглецеві нанотрубки як наповнювачі конструкційних композитів;</li> <li>Вуглецеві нанотрубки для наконечників зондів скануючих мікроскопів (зондова мікроскопія)</li> </ul>	-
4	Обробна промисловість та інші застосування	<ul style="list-style-type: none"> <li>Діоксид титану для керамічної плитки, що самоочищується;</li> <li>Оксиди алюмінію, кремнію, титану, цирконію, карбід-кремнію для покриттів, що відвертають появу подьялин на поверхнях;</li> <li>Оксиди алюмінію і діоксид титану для газотермічних деталей у суднобудуванні;</li> <li>Нанорозмірні плівки платини, паладію, каталітичні конвертори</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>NYLON-6, термопластичний поліолефін, поліпропілен, ацетоліві наокомпозиції з монтморилонітовими наповнювачами для виробництва автомобільних деталей;</li> <li>Полімери на основі NYLON-6 і монтморилоніту для упаковок продуктів харчування;</li> <li>Полімер/глина для виробництва спортивного спорядження</li> </ul>

Таблиця А.2

## Прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах нанопродукуції

№ з/п	Тип наноматеріалу	Сектор світового ринку нанопродуктів	Найменування наноматеріалу	Роки										
				2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015				
1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12				
1	Тонкі плівки і покриття нанорівня	Медицина та біотехнології	Покриття, що захищають від впливу магнітних полів при проведенні МРТ (НАР-покриття) – наноматеріали з заліза і кераміки для покриття медичного обладнання (стілки для посудів та інших органів)	►	•	▼								
			Наноструктурні плівки фосфату кальцію і гідроксиапатит, біосумісні покриття для медичних приладів та імплантатів	•	▼									
			Органічні світлодіоди – OLED нового покоління	•		▼								
			Вуглецеві нанотрубки для прозорих електродів, ЖК-дисплеїв, сонячних елементів	•		▼								
2	Тверді нано-частинки	Медицина та біотехнології	Аптамери для молекулярних біопрепаратів при формуванні зображення у приладах позитронно-емісійної томографії	►		•	▼							
			Ліпиди, полімери, дендрити (полімерні частинки дендритів) для засобів точкової доставки лікарських засобів до місця дії	+	►		•	▼						
		Енергетика	Титанат літію для літій-іонних батарей, що перезаряджаються	•	▼									
			Квантові точки для лазерних діодів при випромінненні світла будь-якої довжини		►		•	▼			►			
Електроніка і ІКТ	Обробна промисловість та інші застосування	Квантові точки, рідкоземельні нанолюмінофори (білі світлодіоди) для світлодіодів як альтернативи ламп накаливання	+	►	•	▼								
		Рідкоземельні нанолюмінофори (FED / SED) для плазкопанельних дисплеїв	►			•	▼							
		Наночастинки металів, для компактних оптичних схем плазмоніки		►		•	▼			►				
			Лантан, що попереджає зростання водорості	•	▼									

Продовження табл. А.1

1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	
		Медицина та біо-технології	Вуглецеві нанотрубки, фулерени, наноканули для пристроїв точкової доставки лікарських засобів	+	▶		•	▶			
			«Нанороти» для створення паливних елементів (батареї) портативної електроніки	▶		•					
3	Полі нано-частинки	Енергетика	Вуглецеві нанотрубки, фулерени для мобільних сховищ водню	▶	•	▶					
			Вуглецеві нанотрубки, наноканули для пристроїв на основі польової емісії (освітлювальна апаратура)	•		▶					
		Електроніка і ІКТ	Вуглецеві нанотрубки, наноканули для пристроїв на основі польової емісії (рентгенівські апарати, плоскостанельні дисплеї)	•	▶						
			Вуглецеві нанотрубки для пристроїв універсальної комп'ютерної пам'яті	▶	•	▶					
4	Монолітні матеріали з нано-структурою	Обробна промисловість та інші застосування	Вуглецеві нанотрубки для напівпровідників і чипів, що збільшують тактову частоту	+	▶		•		▶		
			Вуглецеві нанотрубки для напівпровідників	+	▶			•		▶	
			Вуглецеві нанотрубки для високочутливих датчиків присутності газів і хімікатів	+	▶			•			▶
5	Наноком-позити	Медицина та біо-технології	Наноструктурований титан для створення імплантів з покращеною біосумісністю	•		▶					
			Вуглецеві аерогелі для створення повітряних конденсаторів або для видалення домішок і шкідливих бактерій з води	▶				▶			
			Колатенове волокно/фосфат калію (гідроксипалатит) для заміників кісної та зв'язувальної тканини	+	▶			•		▶	
			Селенід кадмію, квантові точки InAs / GaAs, фулерени для сонячних елементів	▶	•				▶		

Закінчення табл. А.1

1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
		Енергетика	Полімер / неорганічні наночастинки (мембрани PEMFC і DEMC) для паливних елементів	●	▼					
			Матриця органічного полімеру / діоксид кремнію або титану для підсумовуюче-розгалужуючих фільтрів	▶	●	▼				
		Електроніка і ІКТ	Квантові точки (сульфід свинцю, селеніт свинцю) для оптичних перемикачів	+	▶			●	▶	
			Діоксид кремнію, що легований ербієм / кремній для оптоволоконних підсилювачів	▶	●	▼				
			Ніобат літію, танталат літію для оптичних модуляторів при передачі сигналів по оптоволоконним кабелям	+	▶			●	▶	
		Обробна промисловість та інші застосування	Кобальт / карбід вольфраму для ріжучих інструментів і виробництва підшипників	+	▶			●	▶	
			Хлопок / монтморилоніт для вогнезахисного спецодягу	●	▼					

- + фундаментальні дослідження і розробки;
- ▶ прикладні дослідження і розробка технології;
- дослідні зразки та їх застосування;
- ▼ початок комерційного виробництва і вихід продукції на ринок

ДОДАТОК Б

Основні напрямки, перспективи використання та ключові проблеми розвитку нанотехнологій у Росії, які викладені в «Концепції розвитку в Російській Федерації нанотехнологій на період до 2010 года» від 18 листопада 2004 р.

№ з/п	Основні напрямки розвитку		Перспективи використання в економіці		Ключові проблеми розвитку				
	Напрямок	Зміст	№ з/п	Галузь	Перспектива використання нанотехнологій	№ з/п	Проблема	Суть проблеми	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Твердотільні поверхневі і багатопшарові наноструктури	Наноструктури із заданим електронним спектром і необхідними електричними, оптичними, магнітними та іншими властивостями за допомогою конструювання їх на атомному рівні (наприклад, засобами зонної інженерії та інженерії хвильових функцій) і використання сучасних високих технологій (різні модифікації молекулярно-лучкової і молекулярно-хімічної епітаксії, самоорганізація, електронна літографія, технологічні методи тунельної мікроскопії) з одержанням у результаті принципів нових об'єктів і приладів для досліджень і різних додатків – надрешітки, квантові ями, точки й нитки, квантові контакти, атомні кластери, фотонні кристали, спіні-тунельні структури	1	Охорона здоров'я	Нанотехнології забезпечують прискорення розробки нових ліків, створення високоефективних нанопрепаратних форм і способів доставки лікарських засобів до осередку захворювання. Широка перспектива відкривається й в галузі медичної техніки (розробка коштів діагностики, проведення не-травматичних операцій, створення штучних органів). Загальновідомо, що ринок охорони здоров'я є одним із самих значущих у світі, у той же час він слабо структурований і в принципі «не насичується», а розв'язувати завдання носять гуманітарний характер	1	1	Формування кола найбільш перспективних споживачів наноматеріалів і нанотехнологій	Формування кола найбільш перспективних споживачів, які можуть забезпечити максимальну ефективність застосування сучасних досягнень. Необхідно виявити, а потім і сформулювати потреби суспільства в розвитку нанотехнологій і наноматеріалів, здатних істотно вплинути на економіку, техніку, виробництво, охорону здоров'я, екологію, освіту, оборону й безпеку держави
		2	2	Сільське господарство	Застосування нанопрепаратів створеного ряду, сполучення з бактеріодопосином, показало істотне (у середньому 1,5–2 рази) збільшення врожайності практично всіх продовольчих (картопля, зернові, овочеві, плодово-ягідні) і технічних (бавовна,	2	Підвищення ефективності застосування наноматеріалів і нанотехнологій	На початковому етапі вартість наноматеріалів буде вище, ніж звичайних матеріалів, але більш висока ефективність їхнього застосування даватиме прибуток. Тому необхідно	

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Екстремальна ультрафіолетова (ЕУФ) літографія	На основі використання довжини хвилі, рівної 13,5 нм, що забезпечує, крім створення напoeлектронних суперпродуктивних обчислювальних систем, переходу у світ атомних точностей, що неминуче позначиться на суміжних областях знань і виробництва			льон) культур, підвищення їхньої стабільності до несприятливих погодних умов. Наприклад, у дослідках на різних видах тварин показане різке підвищення їхньої опірності стресам і інфекціям (падій знижується в 2 рази щодо контрольних груп тварин) і підвищення продуктивності за всіма показниками в 1,5 – 3 рази.			середньострокове і довгострокове фінансування НДДКР із наноматеріалів і нанотехнологій з вибором способів реалізації програми, включаючи масштаби її джерела фінансування. Держава захищена в найшвидшому розвитку перспективного напрямку, тому вона повинна взяти на себе основні видатки на проведення фундаментальних і прикладних досліджень, формування інновацій
3	Мікроелектромеханіка	Об'єднання поверхневої мікрообробки, що використовується в мікроелектронній технології, з об'ємною обробкою й застосуванням нових наноматеріалів, фізичних ефектів і LIGA-технології на основі синхротронного випромінювання, які забезпечили прорив в галузі створення мікродвигунів, мікророботів, мікронасосів для мікрофлюїдики, мікрооптики, надчутливих сенсорів різних фізичних величин (тиску, прискорення, температури), а також створення надмініатюрних пристроїв, здатних генерувати енергію, проводити моніторинг навколишнього середовища, пересуватися, накопичувати й передавати інформацію, здійснювати певні впливи по закладеній програмі або команді («розумний пил», мікро-роботи)						

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Молекулярні пристрої	Наномашини і нанодвигуни, пристрої з розпізнавання й зберігання інформації, а також наноструктури, в яких роль функціональних елементів виконують окремі молекули. У перспективі це дозволить використовувати принципи прийому й обробки інформації, реалізовані в біологічних об'єктах (молекулярна електроніка)	3	Екологія	Використання фільтрів і мембран на основі наноматеріалів для очищення води й повітря, опріснення морської води, а також використання різних сенсорів для швидкого біохімічного визначення хімічного й біологічного впливів, синтез нових екологічно чистих матеріалів, біосумісних і біодеградованих полімерів, створення нових методів утилізації й переробки відходів. Крім того, істотне значення має перспектива застосування нанопрепаративних форм на основі бактеріородопсину. Дослідження, проведені з натуральними зразками ґрунтів, уражених радіаційно й хімічно (у тому числі й чорнобильських), показали можливість відновлення їх за допомогою розроблених препаратів до природного стану мікрофлори й плодючості за 2,5 – 3 місяці при радіаційних поразках і за 5-6 місяців при хімічних	3	Розробка нових промислових технологій одержання наноматеріалів	Вказані розробки дозволять Росії зберегти деякі пріоритети в науці й виробництві.
5	Фулереноподібні матеріали і нанотрубки	Володіють рядом особливих характеристик, включаючи хімічну стійкість, високі міцність, твердість, ударну в'язкість, електро- і теплопровідність.	4	Енергетика (у тому числі атомна)	Наноматеріали використовуються для вдосконалювання технології створення паливних і конструкційних елементів, підвищення ефективності	4	Перехід від мікротехнологій до нанотехнологій	Доведення розробок нанотехнологій до промислового виробництва, особливо в галузі електроніки й інформатики



Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		<p>Залежно від тонких особливостей молекулярної симетрії фулерени й нанотрубки можуть бути діелектриками, напівпровідниками, мати металеву й високотемпературну надпровідність. Ці властивості в сполученні з наномасштабною геометрією роблять їх майже ідеальними для виготовлення електричних проводів, надпровідних з'єднань або цілих устроїв, які з повною підставою можна назвати виробами молекулярної електроніки. Вуглецеві нанотрубки використовуються також як голчасті щупи скануючих зондових мікроскопів, у дисплеях з польовою емісією, високоміцних композиційних матеріалах, електронних пристроях, у водневій енергетиці як контейнери для зберігання водню</p>			<p>існуючого встаткування й розвитку альтернативної енергетики (адсорбцій зберігання водню на основі вуглецевих наноструктур, збільшення в кільк разів ефективності сонячних батарей на основі процесів нагромадження й енергоперенесення в неорганічних і органічних матеріалах з наночастинами, розробка електродів з розвинутим поверхнею для водневої енергетики на основі трієвих мембран). Крім того, наноматеріали застосовуються в тепловідділяючих і нейтронпоглинаючих елементах ядерних реакторів; за допомогою нанодатчиків забезпечується охорона навколишнього середовища при зберіганні й переробці відпрацьованого ядерного палива, моніторингу всіх технологічних процедур для управління якістю складання й експлуатації ядерних систем; наночастинки використовуються для поділу середовищ у виробництві й переробці ядерного палива.</p>			<p>Інфраструктура, що включає:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ організацію центрів колективного користування унікальними технологічними і діагностичними устаткуваннями;</li> <li>▪ сучасне приладове оснащення наукових і виробничих організацій інструментами й приладами для проведення робіт в галузі нанотехнологій;</li> <li>▪ забезпечення доступу науково-технічного персоналу до синхротронних і нейтронних джерел (як російських, так і закордонних), до надпродуктивних обчислювальних комп'ютерів;</li> <li>▪ розробку спеціальної метрології й державних стандартів в галузі нанотехнологій;</li> </ul>

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Нові класи наноматеріалів і наноструктур	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Фотонні кристали, поведіння світла в яких можна порівняти з поведінням електронів у напівпровідниках. На їхній основі можливе створення приладів зі швидкістю більш високою, ніж у напівпровідникових аналогів;</li> <li>▪ Розупорядковані нанокристаличні середовища для лазерної генерації й одержання лазерних дисплеїв з більш високою яскравістю (на 2 – 3 порядки вище, ніж на звичайних світлодіодах) і більшим кутом огляду;</li> <li>▪ Функціональну кераміку на основі літєвих з'єднань для твердотільних паливних елементів, твердотільних джерел струму, що перезаряджаються, сенсорів газових і рідких середовищ для роботи у твердих технологічних умовах;</li> <li>▪ Квазікристалічні наноматеріали, які володіють унікальним сполученням підвищеної міцності, низького коефіцієнта тертя й термостабільності, що робить їх перспективними для використання в машинобудуванні, альтернативній і водневій енергетиці;</li> </ul>						<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ розвиток фізичних і апаратно-методичних основ адекватної діагностики наноматеріалів на базі електронної мікроскопії високого дозволу, скануючої електронної й тунельної мікроскопії, поверхнево-чутливих рентгенівських методик з використанням синхротронного випромінювання, електронної мікроскопії для хімічного аналізу, електронної спектроскопії, фотоелектронної спектроскопії</li> </ul>

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Конструкційні наноструктурні тверді й м'які сплави для різальних інструментів із підвищеною зносостійкістю й ударною в'язкістю, а також наноструктурні захисні термо- і корозійностійкі покриття;</i></li> <li>▪ <i>Полімерні композити з наповнювачами з наночастинок і нанотрубок, які володіють підвищеною міцністю й низькою займістістю;</i></li> <li>▪ <i>Біосумісні наноматеріали для створення штучної шкіри, принціпово нових типів перев'язних матеріалів з антимікробною, противірусною й протизапальною активністю;</i></li> <li>▪ <i>Нанорозмірні порошки з підвищеною поверхневою енергією, у тому числі магнітні, для дисперсійного зміцнення сплавів, створення елементів пам'яті аудіо- і відеосистем, добавок до добрив, кор-мів, магнітних рідин і фарб;</i></li> <li>▪ <i>Органічні наноматеріали, які володіють багатьма властивостями, недоступними неорганічним речовинам.</i></li> </ul>			<p>Розширення можливостей радіолокаційних систем за рахунок застосування фазованих антенних ґрат з малошумними НВЧ-транзисторами на основі наноструктур і волоконно-оптичних ліній зв'язку з підвищеною пропускну здатністю з використанням фотопримачів і інжекційних лазерів на структурах із квантовими точками;</p> <p>Удосконалення тепловізійних оглядово-приціпальних систем на основі використання матричних фотоприймальних пристроїв, виготовлених на базі нанотехнологій, які відрізняються високим температурним дозволом;</p> <p>Створення потужних економічних інжекційних лазерів на основі наноструктур для накачування твердотільних лазерів, використовуваних у фемтосекундних системах</p>	6	Розвиток фундаментальних досліджень	Фундаментальні дослідження у всіх галузях науки й техніки, пов'язаних з розвитком нанотехнологій

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		<p>Органічна нанотехнологія на базі самоорганізації дозволяє створювати шаруваті органічні наноструктури, що є основою органічної наноелектроніки, й конструювати моделі біомембран кліток живих організмів для фундаментальних досліджень процесів їхнього функціонування (молекулярна архітектура);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Полімерні нанокомпозитні</i> й п'лівкові матеріали для нелінійних оптичних і магнітних систем, газових сенсорів, біосенсорів, мультишарових композитних мембран;</li> <li>▪ <i>Локривні полімери</i> для захисних покриттів, що пасивують, антифрикційних, селективних та про-світлюючих; полімерні наноструктури для гнучких екранів;</li> <li>▪ <i>Двошарові сегнетоелектричні п'лівки</i> для енергоне залежних запам'ятовувальних пристроїв;</li> <li>▪ <i>Рідкокристалічні наноматеріали</i> для високоінформативних і ергономічних типів дисплеїв, нових типів рідкокристалічних дисплеїв (електронний папір).</li> </ul>	6	Інформаційно-ко-мунікаційні технології	<p>Багаторазове підвищення продуктивності систем передачі, обробки й зберігання інформації, а також створення нових архітектур високопродуктивних пристроїв з наблизженням можливостей обчислювальних систем до властивостей об'єктів живої природи з елементами інтелекту;</p> <p>Адаптивний розподіл управління функціональними системами, спеціалізовані компоненти яких здатні до самонавчання й координованих дій для досягнення мети</p>	7	Створення фінансово-економічного механізму формування оборотних коштів	<p>Фінансово-економічний механізм у інститутів і підприємств-розроблювачів наноматеріалів і нанотехнологій, а також розвиток інфраструктури, що забезпечує підтримку інноваційної діяльності в цій сфері на всіх її етапах – від виконання науково-технічних розробок до реалізації високо-технологічної продукції</p>
			7	Двигуно-будування і автомо-більна про-мисловість	<p>За рахунок застосування наноматеріалов, більш точної обробки й відновлення поверхонь можна домогтися значного (до 1,5 – 4 разів) збільшення ресурсу роботи автотранспорту, а також зниження витроє експлуатаційних витрат (у тому числі витрат палива), поліпшення сукупності технічних показників (зниження шуму, шкідливих викидів), що дозволяє більш успішно конкурувати як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках</p>	8	Залучення, підготовка й закріплення кваліфікованих наукових, інженерних і робітничих кадрів	<p>Кваліфіковані кадри для оновленого технологічного комплексу Російської Федерації</p>

Закінчення табл. Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
			8	Машинобудування	<p>Збільшення ресурсу ріжучих і обробних інструментів за допомогою спеціальних покриттів і емульсій, широке впровадження нанотехнологічних розробок у модернізацію парку високоточних і прецизійних верстатів. Створені з використанням нанотехнологій методи вимірів і позиціонування забезпечать адаптивне керування різальним інструментом на основі оптичного вимірювання оброблюваної поверхні деталі й обробної поверхні інструмента безпосередньо в ході технологічного процесу. Наприклад, ці рішення дозволять знизити погрішність обробки з 40 мкм до сотень нанометрів при вартості такого вітчизняного верстату близько 12 тис. дол. і витратах на модернізацію не більше 3 тис. дол. Аналогічні за точністю серійні закордонні верстати коштують не менше 300 – 500 тис. дол. При цьому модернізації потребують не менше 1 млн активно використовуваних металорізальних верстатів із приблизно 2,5 млн верстатів, що перебувають на балансі російських підприємств</p>			

Відповідність глобальних проблем людства та розроблених і завершених розробок установ НАН України в галузі наноматеріалів і нанотехнологій

№ з/п	Назва розробки	Право-власник	Зміст проекту	Практична цінність розробки	Фінансування		Галузь застосування	Глобальні а проблема
					на створення розробки, тис. грн	для подальшого впровадження, тис. грн		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Розробка нового магнітного матеріалу з підвищеною магнітострікією	Інститут магнетизму НАН і МОН України	Одержання нового функціонального магнітного матеріалу – сплаву нікелю з марганцем та галієм, склад якого підібрано таким чином, що він має здатність генерувати значні переміщення під впливом магнітного поля	Виготовлення чутливих елементів актуаторів, керованих магнітним полем	715,0	1000,0	Приладобудування	Технологічне відставання (б уклад)
2	Технологія електронного нанесення функціональних покриттів із золота і срібла для мікро- й наноелектроніки	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України	Дослідження кінетики електродних процесів при розряд-іонізації координаційних сполук d <sup>10</sup> -металів. Гальванічне осадження тонких шарів Au, Ag на підкладки з невідповідних матеріалів	Формування кон-тактів	857,3	200,0	Приладобудування (мікроелектроніка, мікротехніка); НВО «Кристал», «Квазар-мікро», НВО «Інтеграл»	« –
3	Каталітично активні матеріали	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України	Електронно-іонні процеси в енергоперетворюючих і енергоакуюлюючих системах на основі нанодисперсних і нестехіометричних сульфідів і оксидів перехідних металів	Призначені для допалення CO до CO <sub>2</sub> , знижують температуру допалення. В енергоперетворюючих	754,1	400,0	Транспорт, паливно-енергетичний комплекс (паливні елементи, електро-мобілі, регенерація	Нова енергетика, технологічне відставання (б уклад)

Продовження Додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8	9
				пристроях замінюють дорогоцінні метали: Pt, Pd в електродах хімічних джерел струму			каталізаторів крекінгу вуглеводнів нафти); СКТБ з ЄВ ІЗНХ НАН України	
4	Модифіковані електродні матеріали з наноструктурованою поверхнею і конструкції електродів для одержання водню	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України	Розробка основних матеріалів з наноструктурованою поверхнею для одержання водню з деполаризацією виділення кисню і концентруванням дейтерію (D <sub>2</sub> O)	Нові нетрадиційні енергозберігаючі технології одержання універсального екологічно чистого енергоносія - водню, а також важкої води і окислювачів	3461,7	5000,0	Енергетика, промисловість	Нова енергетика, технологічне відставання (буклад)
5	Спосіб отримання неорганічних іоноселективних мембран	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України	Наноструктуровані функціональні матеріали на основі неорганічних сполук з іон- та електропровідними, фотокаталітичними й іонообмінними властивостями	Дозволяє виготовляти мембрани з числом переносу іонів у висококонцентрованих розчинах 0,92	270,0	800,0	Хімічна, металургійна, харчова промисловість	Технологічне відставання (буклад)
6	Розробка дослідно-промислової установки виготовлення вуглецевих нанотрубок	Інститут хімії поверхні ім.О.Чуйка НАН України	Розробка дослідно-промислової установки виробництва вуглецевих нанотрубок (ВНТ) і нановолокон (ВНВ) методом каталітичного піролізу вуглеводнів (СVD) з використанням в якості джерела вуглецю етилену, пропілену, ацетилену, пропан-бутану.	Дозволяє виготовляти: <ul style="list-style-type: none"> <li>вуглецеві наноматеріали;</li> <li>наповнювачі хімічних джерел струму, конденсаторів;</li> <li>поліпропіленові хірургічні шовні</li> </ul>	650,0	-	Медицина і біотехнології; енергетика; обробна промисловість; завод ушлінюючих матеріалів ТОВ «ТМ Спецмаш», КБ ім. Антонова,	Депопуляція і старіння населення, нова енергетика, технологічне відставання (буклад)

Продовження Додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Механохімічний спосіб синтезу нанодисперсного титанату барію з покращеними сегнетоелектричними та фотокаталітичними властивостями	Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України	Нанодисперсні оксидні каталізатори в процесах селективного та повного окиснення вуглеводнів та малих молекул ( $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{S}$ ); механохімічні синтези нових функціональних матеріалів для охорони навколишнього середовища	<ul style="list-style-type: none"> <li>нитки, наповнені ВНТ тощо.</li> <li>Вартість одержаних за проектом ВНТ і ВНВ нижча світових аналогів</li> </ul> <p>Механохімічний синтез титанату барію з титанілоксалату барію та оксидів барію і титану з розмірами частинок 15–25 нм, та високою питомою поверхнею 45–65 <math>\text{m}^2/\text{g}</math>; відсутність розчинників та шкідливих викидів при синтезі; низькі температури синтезу</p>	2475,0	5000,0	Електрохімічна про-мисловість, захист навколишнього середовища	Збереження навколишнього середовища, технологічне відставання (буклад)
8	Препарати наночастинок золота і срібла	Інститут біологічної хімії ім. Ф. Овчаренка НАН України	Дослідження колоїдно-хімічних і молекулярних механізмів біотрансформації ультрадисперсних фаз металів в клітинних і біомінеральних системах	Стабільні препарати наночастинок золота і срібла різного розміру	2044,0	–	Нанобіотехнологія, наномедицина	Деполуляція і старіння населення
9	Методика метрологічного контролю якості	Інститут фізики напівпровідників НАН України	Проведення робіт з експертних досліджень підкладок лазерних дзеркал	Унікальна методика експресного контролю якості обробки	40,0	–	Приладобудування, використовується на КП СПБ «Арсенал»	Технологічне відставання (буклад)



## Закінчення Додатка В

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	поверхні підкладок лазерних дзеркал	ім. В. Лашкарьова НАН України		поверхонь елементів нелінійної оптики для діапазону значень шорткості поверхонь 0,01 – 0,10 нм.				
10	Методичні рекомендації «Оцінка біобезпеки наноматеріалів органічної та неорганічної природи методом визначення генотоксичності лужним гелелектрофорезом ізольованих еукаріотних клітин»	Інститут біологічної хімії ім. Ф. Овчаренка НАН України	Дослідження колоїдно-хімічних і молекулярних механізмів біотрансформації ультрадисперсних фаз металів в клітинних і біомінеральних системах	Методичні рекомендації, призначені для оцінки біобезпеки наноматеріалів органічної та неорганічної природи	2044,0	-	Наномедицина, нанотоксикологія (в тому числі генотоксикологія)	Депуляція і старіння населення

Додаток Г

Наукові проекти Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» НАНУ в 2010 – 2011 рр.

№ з/п	Напрямок	Виконавець		Проект	Обсяг фінансування, млн грн		
		Відділення	Інститут		2010	2011	Разом
1	2	3	4	5	6	7	8
				1.1.1.1. Розробка фізичних принципів керованого формування двовимірних наноструктур на основі органічних молекул та металічних наночастинок	0,17	0,17	0,34
				1.1.3.11. Фемтооптика наночастинок шляхетних металів, напівпровідників та фулеренвімісних органічних сполук	0,16	0,16	0,32
				1.1.3.2. Дослідження оптичних та нелінійно-оптичних властивостей наносистем на основі шляхетних металів та напівпровідників: розвиток нових високочутливих методів дослідження і діагностики подібних наноструктур	0,17	0,17	0,34
1	Фізика наноструктур	Відділення фізики і астрономії	Інститут фізики НАНУ, СФТМН	1.1.3.8. Дослідження методами сингулярної оптики оптичних властивостей наноматеріалів на основі відкокрystalічних середовищ з вуглцевими нанотрубками та іншими наночастинками з метою визначення та вивчення механізму їх взаємодії з електромагнітним випромінюванням, в тому числі процесів генерації оптичних вихорів, розробка методів комплексної діагностики і сертифікації наноматеріалів, визначення часових змін їх характеристик	0,14	0,14	0,28
				1.1.4.13. Розробка та дослідження нових механізмів керування механічним рухом атомів, молекул, наночастинок у градієнтних стаціонарних та імпульсних лазерних полях та розробка на їх основі нових технологій наноінженерії	0,18	0,18	0,36
				1.1.7.18. Дослідження надвисокошвидкісних властивостей напівпровідникових наноструктур з просторовим переносом гарячих носіїв, що забезпечують виникнення від'ємної диференційної провідності (ВДП), підсилення (генерацію) електромагнітного випромінювання	0,19	0,19	0,38

1	2	3	4	5	6	7	8
				1.1.1.14. Модулювання зарядового, орбітального та магнітного впорядкування на нанорівні в сильно корельованих оксидах перехідних металів та сполуках на основі Yb	0,16	0,16	0,32
				1.1.1.3. Вплив домішок на енергетичний спектр, електричні та оптичні властивості вуглецевих нанотрубок та графену	0,17	0,17	0,34
				1.1.1.7. Фізико-хімічний механізм низькотемпературного вакуумно-дугового синтезу наноструктурних твердих покриттів на поверхні алюмінієвих сплавів	0,1	0,1	0,2
			Інститут металофізики ім.Г.В. Курдюмова НАНУ, СФТМН	1.1.3.10. Наноструктури в плівках двовимірних надпровідних купратів, допованих наночастинками, їх вплив на електротранспортні властивості біаксильно-впорядкованих наноструктурованих високотемпературних надпровідників (ВТНП), взаємодія квантів магнітного потоку з наночастинками різної вимірності в плівках ВТНП та розробка довгомірних ВТНП матеріалів з високою критичною температурою ( $T_c \gg 90$ К) та високою густиною критичного струму ( $106 \text{ A/cm}^2$ ) при 78 К для безвзвратних електромереж України	0,12	0,12	0,24
				1.1.8.20. Фізичні основи технології формування гетерогенних наноструктур для потреб спінтроніки на основі напівметалевих феромагнетиків	0,2	0,2	0,4
			Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. Вержіна НАНУ, СФТМН	1.1.1.31. Дослідження механізму керованого формування об'ємного нанокристалічного стану титану з метою розроблення фізичних основ технології виготовлення нових функціональних наноматеріалів	0,1	0,1	0,2
			Інститут магнетизму НАН та МОН України, СФТМН	1.1.3.27. Розробка та дослідження нанорозмірних структур одновимірних магнітофотонних кристалів	0,2	0,2	0,4
				1.1.8.5. Дослідження магнітних та магнітотранспортних властивостей наноматеріалів та наноструктур з метою їх застосування у приладах спінтроніки та запам'ятовуючих пристроях	0,2	0,2	0,4

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Радіоастрономічний інститут НАНУ, СФТМН	1.1.3.17. Теоретичні та експериментальні дослідження резонансного збудження поверхневих хвиль у напів- та надпровідникових періодичних наноструктурах та визначення можливостей створення на цій основі нанофотонних та наноелектронних пристроїв. Розроблення дослідного зразка фільтру субміліметрового діапазону	0,19	0,19	0,38
			Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Усикова НАНУ, СФТМН	1.1.3.45. Фундаментальне математичне та чисельне дослідження оптичних електромагнітних полів одиничних та зв'язаних мікрорезонаторних лазерів з нанорозмірними активними шарами, нитками та стрічками	0,11	0,11	0,22
			МЦ «Інститут прикладної оптики» НАНУ, СФТМН	1.1.6.38. Створення органічних наноструктур на основі нелінійної анізотропної фотоселекції молекул бактеріородопсину та їх практичне використання	0,14	0,14	0,28
			Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ, СФТМН	1.1.7.30. Дослідження та розробка автоемісійних катодів на основі регулярних ансамблів нанодротин кремнію в діелектричних матрицях та емісійних резонансно-тунельних структур	0,12	0,12	0,24
			Радіоастрономічний інститут НАНУ, СФТМН	1.1.3.17. Теоретичні та експериментальні дослідження резонансного збудження поверхневих хвиль у напів- та надпровідникових періодичних наноструктурах та визначення можливостей створення на цій основі нанофотонних та наноелектронних пристроїв. Розроблення дослідного зразка фільтру субміліметрового діапазону	0,19	0,19	0,38
			Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Усикова НАНУ, СФТМН	1.1.3.45. Фундаментальне математичне та чисельне дослідження оптичних електромагнітних полів одиничних та зв'язаних мікрорезонаторних лазерів з нанорозмірними активними шарами, нитками та стрічками	0,11	0,11	0,22
			МЦ «Інститут прикладної оптики» НАНУ, СФТМН	1.1.6.38. Створення органічних наноструктур на основі нелінійної анізотропної фотоселекції молекул бактеріородопсину та їх практичне використання	0,14	0,14	0,28

## Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Інститут фізики напівпровідників ім. В.Лашкарьова НАНУ, СФТМН	1.1.7.30. Дослідження та розробка автоемісійних катодів на основі регулярних ансамблів нанодротин кремнію в діелектричних матрицях та емісійних резонансно-тунельних структур	0,12	0,12	0,24
			Інститут ядерних досліджень НАНУ, СХБН	1.1.1.44. Вплив нанорозмірних структур інкорпорованої води на фізичні властивості водовмістких вуглецевих нанотрубок	0,16	0,16	0,32
	Відділення ядерної фізики та енергетики		Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАНУ СФТМН	1.1.1.48. Дослідження височастотної втоми нанокластерного металевго скла	0,15	0,15	0,3
	Відділення інформатики		Інститут космічних досліджень СФТМН	1.1.1.33. Дослідження електронних та механічних властивостей вуглецевих наноматеріалів для створення електромеханічних космічних приладів	0,15	0,15	0,3
	Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства		ДНУ«ІТК «Інститут монокристалів» НАНУ, СФТМН	1.1.5.21. Надпровідні екситонні системи з рекордними параметрами на основі графену	0,11	0,11	0,22
	Усього за напрямом «Фізика наноструктур»				3,39	3,39	6,78

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
2 Технології напівпровідників нано-структур		Відділення фізики і астрономії	Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ, СФТМН	2.2.1.14. Розробка методик формування наноструктурованих об'єктів на поверхні напівпровідників типу A <sup>2</sup> B <sup>6</sup> методами хімічного травлення та колоїдного синтезу в розчинах, впровадження їх в твердотільні матриці і дослідження оптичних та електрофізичних властивостей	0,1	0,1	0,2
				2.2.11.31. Розроблення нанотехнологій створення наноструктур методом сканувальної зондової мікроскопії з електропровідним алмазним вістрям	0,1	0,1	0,2
				2.2.12.20. Розробка нанодисперсних катодіюмінофорів на основі перовскитних віртуальних сегнетоелектриків	0,11	0,11	0,22
				2.2.13.2. Розробка фізико-технологічних основ виготовлення компонентів наелектронних АЗН-приладів для оптоелектроніки та НВЧ-техніки	0,13	0,13	0,26
				2.2.15.28. Розроблення нанотехнологій виготовлення наноструктурованих кремній-карбонізованих матеріалів та розроблення на їх основі світловипромінюючих елементів у широкому діапазоні довжини хвиль	0,12	0,12	0,24
				2.2.3.21. Розроблення лазерних методів формування композитних плазмонних наноструктур	0,1	0,1	0,2
				2.2.6.15. Розроблення технологій нанорозмірних структур з півками германію та його сполук з кремнієм і арсенідом галію на підкладках GaAs та Si для виготовлення на їх основі електронних приладів	0,1	0,1	0,2
				2.2.6.34. Розроблення технологій створення нанорозмірних германієвих структур на підкладках GaAs та Si для виготовлення на їх основі електронних приладів	0,1	0,1	0,2
				2.2.9.1. Розроблення методів інтерференційної нанолітографії для формування рельєфно-фазових наноструктур з використанням вакуумних фоторезистів	0,1	0,1	0,2
				2.3.1.3. Розроблення нанотехнологій виготовлення елементної бази НВЧ пристроїв для діапазону частот 200–600ГГц.	0,11	0,11	0,22



Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
		Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології	Інститут молекулярної біології і генетики НАНУ, СХБН	2.2.7.27. Функціональні біонаноматеріали для медичної діагностики онкологічних захворювань	0,1	0,1	0,2
		Усього за напрямом «Технології напівпровідникових наноструктур»			2,07	2,07	4,14
				3.5.1.12. Розроблення апаратури для високороздільної рентгенівської діагностики наноматеріалів, наноструктур та аморфних сплавів	0,2	0,2	0,4
				3.5.1.21. Розробка методів і комп'ютеризованого обладнання для електрофізичного діагностування елементів нанокристалічної пам'яті	0,11	0,11	0,22
				3.5.1.28. Розроблення та розвиток сертифікованих методик маспектроскопічної діагностики наноматеріалів, наноструктур та аморфних сплавів	0,2	0,2	0,4
				3.5.1.30. Створення методу та апаратури для рентгеноультраакустичної експресної багатопараметричної діагностики наносистем	0,14	0,14	0,28
3	Діагностика наноструктур	Відділення фізики і астрономії	Інститут фізики напівпровідників ім. В.Лашкарьова НАНУ, СФТМН	3.5.2.6. Розроблення та розвиток методів субмікронного топографування та паспортизації хімічного складу, структурної досконалісті, електрофізичних параметрів та розподілу механічних напружень у наноструктурах електроніки і оптоелектроніки	0,18	0,18	0,36
				3.5.3.4. Розроблення методу надчутливої поверхнево-плазмонно-підсиленої діагностики молекулярних, біологічних і колоїдних наносистем для потреб каталізу, медицини, фармакології та захисту навколишнього середовища	0,2	0,2	0,4
				3.5.4.8. Розроблення новітніх методів механічної та електростатичної нанозондової літографії і наноманіпуляцій для потреб наноелектроніки і нанобіосенсорики	0,12	0,12	0,24
				3.6.1.10. Створення випробувальної лабораторії скануючої зондової мікроскопії	0,15	0,15	0,3



## Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова НАНУ, СФТМН	3.5.1.14. Створення рентгенівського дифракто-топографа-рефлектометра для косонесиметричної геометрії дифракції з урахуванням дифузного розсіяння та шоркстості профільованих поверхонь, зокрема, на ковзних променях для неруйнівної селективної за глибиною та багатопроєкційної діагностики виробів нанотехнологій	0,15	0,15	0,3
			Інститут фізики НАНУ, СФТМН	3.6.3.13. Створення гідродинамічної комбінованої дифрактометрії (ДДКД): станції ДДКД на синхротронному випромінюванні	0,2	0,2	0,4
			Інститут фізики НАНУ, СФТМН	3.5.1.24. Розвиток нових методів діагностики наноматеріалів і наноструктур з використанням стаціонарних та імпульсних лазерних полів	0,15	0,15	0,3
			Інститут прикладної фізики НАН України	3.5.5.23. Розроблення методів діагностики деградаційних процесів та прогнозування надійності наноструктурованих матеріалів і нанорозмірних структур при їх використанні в екстремальних умовах	0,15	0,15	0,3
	Відділення ядерної фізики та енергетики		Інститут прикладної фізики НАН України	3.5.1.16. Розроблення джерел рентгенівського випромінювання з високою яскравістю та створення на їх основі лабораторних установок для реалізації методів мікрорентгено-флуоресцентного аналізу, мікрорентгенівської дифракції, рентгенівської комп'ютерної мікροтомографії	0,15	0,15	0,3
Усього за напрямком «Діагностика наноструктур»					2,1	2,1	4,2
			Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова НАНУ, СФТМН	4.9.1.4. Освоєння промислового виробництва аморфних і нанокристалічних сплавів та стрічкових магнітопроводів з них на основі технології надшвидкого охолодження металевих розплавів	0,3	0,3	0,6
	Відділення фізики і астрономії		Донецький фізико-технічний інститут ім. О. Галкіна НАНУ, СФТМН	4.10.3.49. Розроблення дослідно-промислових технологій виготовлення зносостійких нанокомпозитів з керамічною матрицею для нафтогазових насосів та вузлів тертя	0,23	0,23	0,46
			Інститут ім. О. Галкіна НАНУ, СФТМН	4.13.7.8. Розроблення технологій виготовлення наноматеріалів конструкційного призначення методом гвинтової екструзії	0,2	0,2	0,4

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ, СФТМН	4.7.1.17. Розроблення дослідно-промислових технологій виробництва нанопорошків тугоплавких сполук, халькогенідних та оксидних фаз	0,5	0,5	1,0
			Францевича НАНУ, СФТМН	4.10.3.9. Розроблення дослідно-промислових технологій виготовлення наноструктурних інструментальних та зносостійких керамічних матеріалів на основі нїтридних фаз	0,35	0,35	0,7
			Інститут надтвердих матеріалів ім. В. Бакуля НАНУ, СФТМН	4.11.4.39. Розроблення дослідно-промислової технології виготовлення наноструктурних біосумісних матеріалів з оптимальними біомеханічними властивостями поверхні та біоактивних покриттів для імплантів	0,45	0,45	0,9
			Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства	4.10.5.32. Розроблення дослідно-промислових технологій синтезу надровідних консолідованих наноструктурованих матеріалів з нанодисперсними включеннями надтвердих фаз високого тиску та багаточарових плівкових сендвічевих структур систем Mg-B-O   Y-Ba-Cr-O з високим рівнем функціональних властивостей	0,1	0,1	0,2
4	Нано-матеріали		Фізико-механічний інститут ім. Г.Карпенка НАНУ, СФТМН	4.11.1.42. Розробка наноструктурованих матеріалів на поліуретановій, поліепоксидній та кремнійорганічній основах з покращеними характеристиками для протикорозійного захисту металоконострукції та освоєння їх виробництва в дослідно-промислових умовах	0,1	0,1	0,2
			Інститут електрозварювання ім. Є.Патона НАНУ, СФТМН	4.12.4.74. Проведення фундаментальних досліджень впливу нанотворень на умови формування мікроструктури металу зварних швів з метою підвищення рівня функціональних властивостей зварних з'єднань високоміцних низьколегованих сталей	0,2	0,2	0,4
			Фізикотехнологічний інститут металів та сплавів НАНУ, СФТМН	4.13.10.11. Дослідження впливу наноструктурних елементів на структуру і властивості металокомпозитів та розробка технології одержання литих гібридних наокомпозитів з підвищеними триботехнічними характеристиками	0,1	0,1	0,2
			Інститут сцинтиляційних матеріалів НАНУ, СФТМН	4.14.3.16. Релаксація високоенергетичних електронних збуджень в наноструктурованих матеріалах на основі мікро- та наночастинок, диспергованих у кристалічній, скляні та полімерні матриці	0,38	0,38	0,76

## Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
		Відділення хімії	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАНУ, СХБН	4.10.9.3. Розроблення дослідно-промислових технологій виготовлення нових високоефективних діелектричних та нелінійних НВЧ-матеріалів на основі наноструктурованих оксидних систем	0,2	0,2	0,4
			Інститут хімії високомолекулярних сполук НАНУ, СХБН	4.13.5.7. Розроблення технології виготовлення нового покоління конструкційних деталей для остеосинтезу на основі наноструктурованого епоксиполіуретанового композиту та лікарських речовин	0,1	0,1	0,2
	Відділення ядерної фізики та енергетики		Національний науковий центр «Харківський фізикотехнічний інститут» НАНУ СФТМН	4.11.3.53. Створення і використання в виробничій практиці іонно-плазмованих наноструктурованих багатшарованих надтвердих покриттів з температурою нанесення від 120°C і більше	0,2	0,2	0,4
	Відділення фізико-технічних проблем енергетики		Інститут газу НАНУ, СФТМН	4.7.2.6. Розробка дослідно-промислової технології виробництва, застосування і регенерації наноструктурованого нафтосорбенту на основі терморозщепленого графіту та створення відповідного стаціонарного і мобільного обладнання	0,27	0,27	0,54
	Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології		Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. Заболотного НАНУ, СХБН	4.8.4.25. Створення дослідно-промислових технологій синтезу нанокоспозитів на основі наночастинок неорганічних сполук та біологічно активних компонентів клітинних стінок та метаболітів пробіотичних мікроорганізмів	0,2	0,2	0,4

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	7	8	9
		Відділення загальної біології	ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАНУ», СХБН	4.8.5.28. Розроблення дослідно-промислової технології синтезу точкових наночастинок за допомогою фітосмекостей та культури клітин рослин для візуалізації субклітинних структур	0,15	0,15	0,3
Усього за напрямом «Наноматеріали»					4,03	4,03	8,06
5	Нанобіотехнології	Відділення хімії	Інститут органічної хімії НАНУ, СХБН	5.16.1.2. Створення наноструктурних каліксаренових рецепторів для біомедичного застосування	0,1	0,1	0,2
			Інститут хімії по верхні ім. О. Чуйка НАНУ, СХБН	5.16.1.7. Розроблення технології та виготовлення нових нанорозмірних антимікробних матеріалів широкого спектру дії та кон'югованих нанобіотехнологічних протипухлинних препаратів з низькою токсичністю на основі наночастинок срібла, золота, міді в колоїдах та суспензіях дисперсного кремнезему	0,11	0,11	0,22
			Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАНУ, СХБН	5.16.3.19. Протипухлинні, малотоксичні, адресної доставки, широкого спектру дії, нанорозмірні фосфонати паладію(II) – потенційні лікарські субстанції	0,14	0,14	0,28
			Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ, СХБН	5.18.2.8. Дослідження фізико-хімічних властивостей і біоактивності синтетичних нанорозмірних макрокільчаткових об'єктів та їх функціоналізованих похідних по відношенню до терапевтично важливих білкових мішеней in vitro	0,13	0,13	0,26
			Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова НАНУ, СФТМН	5.16.1.25. Розробка технології виробництва біосумісних функціональних наноматеріалів на основі апатиту кальцію з урахуванням умов синтезу in-situ для біомедичного застосування	0,13	0,13	0,26

1	2	3	4	5	6	7	8
	Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства	Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ, СФТМН	5.16.1.40. Удосконалення технологій, дослідження, організація дослідно-промислового виготовлення та впровадження в широку клінічну практику різних видів наноструктурованої біоактивної кераміки та імплантатів з них для відновлення кісткової тканини та адресної доставки ліків	0,1	0,1	0,2	
	Відділення загальної біології	Інститут біології підводних морів ім. О. Ковалевського НАНУ, СХБН	5.16.2.52. Дослідження синтезу нанокластерного срібла в матриці біополімерів морських водоростей та розробка на їх основі нових предметів медичного призначення	0,1	0,1	0,2	
			5.16.3.14. Створення системи інгібування росту пухлин головного мозку на основі нанокон'югатів антитисенсолігонуклеотидів та антитіл, специфічних до онкобілків, з природними біополімерами	0,11	0,11	0,22	
			5.16.3.36. Нанокон'югагати новітніх протипухлинних препаратів на основі специфічних лігандів квадруплексної ДНК – інгібіторів теломерази	0,13	0,13	0,26	
	Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології	Інститут молекулярної біології і генетики НАНУ, СХБН	5.16.4.18. Виготовлення нанокон'югатів для високочутливої детекції в плазмі крові біомаркерів раннях стадій нейродегенеративних та онкологічних захворювань	0,13	0,13	0,26	
			5.17.2.35. Розробка наноконструкцій на основі високодисперсного кремнезему та розгалуженого полімеру декстран-поліакриламід для доставки лікарських препаратів у клітини, що мають фагоцитарну активність, як етап до цільової терапії моноцитарних лейкозів і гістiocитарних пухлин	0,15	0,15	0,30	
			5.20.1.13. Розробка біоселективних мембран на основі вуглецевих наноматеріалів, функціоналізованих біомолекулами для створення аналітичних мікроприладів нового покоління	0,13	0,13	0,26	
			5.20.2.3. Оптичні сенсорні системи на основі наноструктурованих молекулярно імпринтованих полімерних мембран для моніторингу довкілля та медичної діагностики	0,12	0,12	0,24	

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
				5.16.4.37. Дослідження наноструктурних каліксаренів для біомедичного застосування як антитромботичних препаратів	0,15	0,15	0,3
				5.17.2.41. Імуноліпосоми для направленої доставки біологічно активних компонентів до клітин пухлинних тканин	0,15	0,15	0,3
				5.18.4.1. З'ясування закономірностей та біофізикохімічних механізмів дії каліксаренів на функціонування каталітичних і транспортних білків біологічних мембран	0,12	0,12	0,24
			Інститут біохімії ім. О. Палладіна НАНУ, СХБН	5.18.5.16. Нові нановуглецеві матеріали для спрямованої дії на онкотрансформовані клітини	0,18	0,18	0,36
				5.18.5.27. Створення і аналіз біомодулюючих властивостей складного нанокмплексу залізних та кальцій карбонатних наночастинок з наночастинками агрегатів циклодекстринів; оцінка нейротоксичного ризику його використання у нанонейротехнології	0,11	0,11	0,22
				5.19.1.50. Протипухлинна дія хіміотерапевтичних препаратів за умов їх доставки новими нанокмплізитними носіями, функціоналізованими N-ацилгетаноламінами	0,12	0,12	0,24
				5.19.1.59. Резонансна флуориметрія в електромагнітному полі наноструктур: прилад та методика біотехнологічних застосувань	0,14	0,14	0,28
				5.17.2.29. Трубочасті фуллєри хвостових відростків дефектних бактеріофагів як нанодозатори антимікробних речовин	0,1	0,1	0,2
			Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. Заболотного НАНУ, СХБН	5.19.1.24. Технологія отримання нанодротів на основі вірусів для застосування в наноелектроніці та наномедицині	0,13	0,13	0,26
				5.19.1.33. Наукові основи створення силкого бактеріального препарату комплексної дії для злакових культур	0,1	0,1	0,2

## Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. Кавецького НАНУ, СХБН	5.18.3.53. Біологічна активність та безпека наноматеріалів, що можуть бути використані при створенні векторних систем протипухлинних препаратів 5.18.5.46. Дослідження впливу вуглецевих наночастинок на біологічні системи та оцінка їх ролі у підвищенні онкологічного ризику	0,15	0,15	0,30
		Відділення фізико-технічних проблем енергетики	Інститут технічної теплофізики НАНУ, СФТМН	5.19.1.17. Дослідження теплообмінних процесів при створенні везикулярних фосфоліпідних наноструктур з використанням ефекту дискретно-імпульсного введення енергії та їх реалізація в промислових нанотехнологіях	0,1	0,1	0,2
		Відділення інформатики	Інститут кібернетики ім. В. Глушкова НАНУ, СФТМН	5.20.3.34. Створення та дослідження нових нанобіоматеріалів на основі рекомбінантних одноланцюгових антитіл та наноструктурованих підкладінок для нанобіосенсорної імунодіагностики	0,1	0,1	0,2
				Усього за напрямом «Нанобіотехнології»	3,36	3,36	6,72
6	Наномісія	Відділення хімії	Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАНУ, СХБН	6.22.1.7. Гібридні органо-неорганічні та неорганічні накомпозиційні матеріали для мембранних процесів розділення 6.22.1.8. Розробка методів синтезу нових іонпровідних наноматеріалів на основі оксидів перехідних металів для сенсорних та енергоперетворюючих систем	0,1	0,1	0,2
			Інститут сорбції та проблем ендокнології НАНУ, СХБН	6.22.1.9. Альтернативні методи одержання нанодисперсних порошків на основі оксидів титану та ніобію, як ефективних катализаторів та основи виробництва керамічних матеріалів	0,12	0,12	0,24
			Інститут фізичної хімії ім. Л. Писаржевського НАНУ, СХБН	6.22.2.22. Розроблення нових та удосконалення наявних технологій для виробництва високопродуктивних наофазних катализаторів захисту довілля та водневої енергетики	0,15	0,15	0,3

Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
				6.22.3.11. Створення гібридних композитних наноматеріалів органічної електроніки	0,25	0,25	0,5
				6.22.3.41. Розробка наноструктурованих фотополімеризаційноздатних композицій з використанням кремнійорганічних модифікаторів та акрилів металів для технології запису інформації, оздоблення друкованої та пакувальної продукції	0,12	0,12	0,24
			Інститут органічної хімії НАНУ, СХБН	6.22.2.3. Синтез нанорозмірних каталізаторів для асиметричних реакцій	0,2	0,2	0,4
			Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ, СХБН	6.22.7.6. Наночастинки на основі біодеградуючих полімерів як макромолекулярні носії для транспорту потенційних високоефективних нейропротекторних препаратів до центральної нервової системи	0,15	0,15	0,3
			Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАНУ, СХБН	6.22.3.30. Розробка нових плівкових гнучких гібридних композитних наноматеріалів на основі електропровідних полімерів для електростатичного та електромагнітного захисту	0,2	0,2	0,4
			Інститут хімії високомолекулярних сполук НАНУ, СХБН	6.22.3.31. Розробка нанотехнологій виробництва гібридних органічно-неорганічних композитних наноматеріалів високої термостійкості та адгезійної міцності і низьких діелектричних втрат для елементів авіації, ракетної техніки, мікроелектроніки	0,2	0,2	0,4
			Інститут хімії високомолекулярних сполук НАНУ, СХБН	6.22.7.21. Створення біосумісних наноструктурованих полімерних матеріалів та нанокомпозитів на основі взаємопроникливих полімерних сіток для біомедичних застосувань	0,2	0,2	0,4
			Інститут хімії поверхні ім. О.Чуйка НАНУ, СХБН	6.22.3.40. Розроблення наноструктурованих гібридних органічно-неорганічних покриттів для тимчасового протикорозійного захисту металопрокату	0,11	0,11	0,22
			Інститут хімії поверхні ім. О.Чуйка НАНУ, СХБН	6.22.5.42. Гібридні органічно-неорганічні нанoadсорбенти – удосконалення методів синтезу та розробка технології їх виготовлення	0,2	0,2	0,4
			Інститут хімії поверхні ім. О.Чуйка НАНУ, СХБН	6.22.7.16. Розробка нових нанорозмірних матеріалів на основі кремнію і літіїалізофосфату та вивчення фізико-хімічних перетворень при їх зворотньому літіюванні в якості електродів літій-іонних акумуляторів нового покоління	0,2	0,2	0,4



## Продовження Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
			Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А. Думанського НАНУ, СХБН	6.22.5.12. Розробка сорбенту на основі природного целюліту (клінопілоліту) з хемосорбційно наносенними нанокластерами діоксиду марганцю і технології його застосування для очистки артезіанської води від іонів Mn (II) і Fe (II)	0,2	0,2	0,4
			Інститут сорбції та проблем ендокнології НАНУ, СХБН	6.22.5.26. Синтез і дослідження нанопоруватих вуглецевих матеріалів для енергонакопичуючих систем	0,17	0,17	0,34
			Фізико-хімічний інститут ім. О. Богатського НАНУ, СХБН	6.22.7.43. Нові типи нанокompatibilних систем поліфункціональної дії на основі лантанідвмісних іррачєрвоних випромінювачів	0,1	0,1	0,2
	Відділення фізико-технічних проблем матеріалознавства		ДНУ«НТК «Інститут монокристалів» НАНУ, СФТМН	6.22.3.35. Дисперсії напівпровідникових наночастинок у рідкокристалічному середовищі	0,1	0,1	0,2
	Відділення фізики і астрономії		Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ, СФТМН	6.22.5.15. Розроблення нанотехнологій синтезу наночастинок ZnO та CdS для виготовлення світлопоглинаючих елементів на основі структур макропористого кремнію з нанокритицями	0,2	0,2	0,4
			Донецький фізико-технічний інститут ім. О. Галкіна НАНУ, СФТМН	6.22.7.33. Комплексна технологія створення функціонально-орієнтованих нанорозмірних систем на основі оксидів та організація дослідно-промислового їх виробництва	0,25	0,25	0,5
					3,42	3,42	6,84
Усього за напрямом «Нанохімія»							

Закінчення Додатка Г

1	2	3	4	5	6	7	8
7. Забезпечення розвитку нанондустрії	Відділення фізики і астрономії	Інститут фізики НАНУ, СФТМН	9.30.1.3. Створення інноваційного середовища для комерціалізації та трансферу нанотехнологій у бізнес в Україні	0,285	0,285	0,57	
		Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова НАНУ, СФТМН	9.30.3.2. Центр інформаційних ресурсів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали». Розділ 1. Інформаційне, аналітичне та організаційне забезпечення Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали»	0,35	0,35	0,7	
		Центр практичної інформатики НАНУ, Установи при Президії НАНУ, ПНАНУ	9.30.3.2. Центр інформаційних ресурсів Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали». Розділ 2. Створення інформаційної інфраструктури Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали»	0,15	0,15	0,3	
Усього за напрямом «Забезпечення розвитку нанондустрії»				0,785	0,785	1,57	
<b>Усього</b> за Державною цільовою науково-технічною програмою «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010–2011 рр.				19,155	19,155	38,31	

Базові позитивні ефекти застосування нанопродуктів за секторами ринку

№ з/п	Сектор ринку	Типи ефектів					Інформаційні ефекти
		Покращують властивості продуктів	Ресурсні ефекти	Соціальні ефекти	Екологічні ефекти	Інформаційні ефекти	
1	2	3	4	5	6	7	
1	Медицина і біотехнології	<ul style="list-style-type: none"> <li>Зниження дозування медичних препаратів;</li> <li>спрямована дія ліків;</li> <li>зменшення побічної дії лікарських засобів;</li> <li>збільшення ефективності застосування лікарських засобів;</li> <li>поява препаратів з новим механізмом дії (наприклад, таких, що активізуються при підвищенні температури у пацієнта);</li> <li>поява штучних тканин і органів, що не викликають реакції відторгнення</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>скорочення часу лікування пацієнтів;</li> <li>збільшення періоду працездатності віку;</li> <li>зростання народжуваності;</li> <li>скорочення смертності</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розвиток ринку медичних послуг;</li> <li>зростання тривалості життя;</li> <li>створення довгострокових систем контролю здоров'я;</li> <li>революційні зміни в охороні здоров'я (виникнення медицини «малого» втручання і медицини «без втручання»)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Зниження рівня «біологічного забруднення» навколишнього середовища;</li> <li>підтримка балансу серед живих організмів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розширення знань про природу людини;</li> <li>підвищення інформативності медичного діагностування;</li> <li>можливість одержання більш точних знань щодо живих організмів і розвитку патологічних процесів</li> </ul>	
2	Енергетика	<ul style="list-style-type: none"> <li>Зменшення трудомісткості одержання енергії;</li> <li>підвищення ККД використання електроенергії;</li> <li>зменшення кількості сировини, що використовується</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Використання поновлюваних джерел енергії;</li> <li>зниження споживання енергії;</li> <li>економія грошових ресурсів;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Підвищення безпеки енерговиробництва;</li> <li>поява нових джерел енергії</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розвиток екологічно безпечних транспортних засобів;</li> <li>розвиток і виробництво нових джерел енергії;</li> <li>запобігання подальшій руйнації озонного шару;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Накопичення нових знань, трудових навичок, передового технологічного, науково-технічного і інтелектуального потенціалу суспільства</li> </ul>	

Продовження Додатка А

1	2	3	4	5	6	7
			<ul style="list-style-type: none"> <li>зниження витрат на напівпровідникові матеріали;</li> <li>зниження вартості «со-нячно» електроенергії;</li> <li>зниження витрат на виробництво товарів широкого вжитку;</li> <li>економія енергії</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>зниження ризику онкологічних і серцево-судинних захворювань;</li> <li>більш повна переробка відходів;</li> <li>припинення випуску екологічно небезпечних речовин;</li> <li>припинення утворення діоксиду;</li> <li>зменшення і припинення викидів окису сірки і азоту</li> </ul>	
3	Електроніка і ІКТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Різке збільшення об'єму пам'яті зап'ятовуючих пристроїв;</li> <li>зменшення розмірів мікросхем для суперІОМ;</li> <li>більш широкі діапазони робочих частот;</li> <li>багаторазове збільшення швидкодії;</li> <li>збільшення швидкостей і об'ємів інформації, що передається, у системах зв'язку і радіолокації</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Значне зниження енергоспоживання;</li> <li>зниження виробничих витрат за рахунок зменшення потужності, що споживається, і вартості, розміру, ваги;</li> <li>підвищення ресурсу роботи електричних пристроїв</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Високий ступінь розповсюженості на суміжні області, такі як медицина, розвідка корисних копалин, дослідження верхніх шарів атмосфери, військова промисловість і машинобудування;</li> <li>розвиток систем медичного обслуговування, розвиток систем ранньої діагностики і попередження захворювань;</li> <li>зниження витрат на медичне обстеження;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Можливість більш ефективно і з меншими побічними ефектами пристосовувати природні умови до потреб людства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Підвищення можливості використання інформаційних ресурсів і технологій;</li> <li>підвищення рівня освіти, міжкультурних і комунікаційних зв'язків;</li> <li>глобалізація інформаційного простору</li> </ul>

## Закінчення Додатка А

1	2	3	4	5	6	7
4	Обробка промисло- вість та інші застосу- вання	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Покращення експлуатаційних властивостей існуючих матеріалів, машин і обладнання;</li> <li>▪ створення більш міцних, легких і дешевих матеріалів;</li> <li>▪ створення приладів і обладнання з принципово новими експлуатаційними характеристиками</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Здешевлення вартості кінцевої продукції;</li> <li>▪ зниження витрат енергії і сировинних матеріалів;</li> <li>▪ економія живої праці;</li> <li>▪ збільшення строків експлуатації деталей і машин</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ революційні зміни в організації охорони здоров'я і навколишнього середовища;</li> <li>▪ розвиток систем «лікування у домашніх умовах»;</li> <li>▪ розвиток систем соціального захисту інвалідів</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Зменшення шкідливих викидів;</li> <li>▪ підвищення екологічної безпеки регіону;</li> <li>▪ зниження відходів виробництва;</li> <li>▪ підвищення екологічності товарів, що випускаються;</li> <li>▪ покращення ергономічності товарів, що випускаються</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Накопичення нових знань, трудових навичок, передових науково-технічних і інтелектуальних технологій;</li> <li>▪ перехід до радикально нових нанотехнологій</li> </ul>



*Наукове видання*

**КИЗИМ Микола Олександрович**  
**МАТЮШЕНКО Ігор Юрійович**

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
І КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ НАНОТЕХНОЛОГІЙ  
В ЕКОНОМІКАХ КРАЇН СВІТУ ТА УКРАЇНИ**

**Монографія**

Підписано до друку 27.12.2011 р. Формат 70 x 100/16. Папір офсетний.  
Гарнітура OfficinaSerifC. Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 27,3.  
Обл.-вид. арк. 32,8. Наклад 300 прим. Зам. № 595.

---

Видавничий Дім «ІНЖЕК»  
61001, Харків, пр. Гагаріна, 20. Тел. (057) 7034021, 7034001.  
e-mail: [vdinzhek@gmail.com](mailto:vdinzhek@gmail.com); [www.inzhek.kharkov.ua](http://www.inzhek.kharkov.ua)  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру України суб'єктів  
видавничої діяльності ДК № 2265 від 18.08.2005 р.  
Надруковано у ВД «ІНЖЕК», Харків, пр. Гагаріна, 20.