

ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ І ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У СВІТІ Й УКРАЇНІ ДО 2020 Р.

© 2014 МОІСЕЄНКО Ю. М.

УДК 330.3+332.1

Моїсеєнко Ю. М. Проблема прогнозування напрямків досліджень і використання нанотехнологій у світі й Україні до 2020 р.

Наведено основні прогнозні напрямки впровадження нанотехнологій у галузі економіки, виділено 56 конвергентних нанотехнологій, з яких 16 мають високу ймовірність комерційного використання. Встановлено, що при розробці інноваційної політики до 2020 р. країн ЄС, США, Японії було відібрано 40 пріоритетних інноваційних технологій і встановлено 4 пріоритетні області: нанотехнології, нові матеріали (11 технологій); технології інформаційного суспільства (12 технологій); технології наук про життя, геноміки і біотехнології (8 технологій); технології сталого розвитку, глобальної зміни клімату і екосистеми (9 технологій). Показано, що аналіз ринку нанопродуктів, представлений російськими фахівцями, дозволяє визначити складові ринку нанопродуктів, основний обсяг якого сформували продажі наноматеріалів, обробна промисловість, енергетика, медицина і біотехнологія, а також спеціальне обладнання і приладна база. Представлено результати виконання цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2010 – 2013 рр., а також Державної цільової науково-технічної програми України «Нанотехнології та наноматеріали» за 2012 – 2013 рр. і визначено очікувані результати виконання вказаних програм.

Ключові слова: нанотехнології, комерційне застосування нанотехнологій, наноструктурні системи, наноматеріали, нанопродукти.

Табл.: 6. **Бібл.:** 12.

Моїсеєнко Юрій Миколайович – здобувач, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пл. Свободи, 5, Держпром, 7 під'їзд, 8 поверх, Харків, 61022, Україна)

УДК 330.3+332.1

Моїсеєнко Ю. М. Проблема прогнозирования направлений исследований и применения нанотехнологий в мире и Украине до 2020 г.

Представлены основные прогнозные направления внедрения нанотехнологий в сферы экономики, а также выделено 56 конвергентных нанотехнологий, из которых 16 имеют высокую вероятность коммерческого применения. Установлено, что при разработке инновационной политики до 2020 г. стран ЕС, США, Японии были отобраны 40 приоритетных инновационных технологий и установлены 4 приоритетные области: нанотехнологии, новые материалы (11 технологий); технологии информационного общества (12 технологий); технологии наук о жизни, геномики и биотехнологии (8 технологий); технологии устойчивого развития, глобального изменения климата и экосистемы (9 технологий). Показано, что анализ рынка нанопродуктов, представленный российскими специалистами, позволяет определить составляющие рынка нанопродуктов, основной объем которого сформировали продажи наноматериалов, обрабатывающая промышленность, энергетика, медицина и биотехнология, а также специальное оборудование и приборная база. Представлены результаты выполнения целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Фундаментальные проблемы наноструктурных систем, наноматериалов, нанотехнологий» за 2010 – 2013 гг., а также Государственной целевой научно-технической программы Украины «Нанотехнологии и наноматериалы» за 2012 – 2013 гг. и определены ожидаемые результаты выполнения указанных программ.

Ключевые слова: нанотехнологии, коммерческое применение нанотехнологий, наноструктурные системы, наноматериалы, нанопродукты.
Табл.: 6. **Библ.:** 12.

Моїсеєнко Юрій Миколаєвич – соискатель, Научно-исследовательский центр индустриальных проблем развития НАН Украины (пл. Свободы, 5, Госпром, 7 подъезд, 8 этаж, Харьков, 61022, Украина)

UDC 330.3+332.1

Moiseienko Yu. M. The Problem of Forecasting Research Areas and Implementation of Nanotechnology around the World and in Ukraine by 2020

The main forecasting areas of implementation of nanotechnology in the spheres of economy are introduced, as well as 56 convergent nanotechnologies, of which 16 have a high probability of commercial application, have been selected. It has been determined that, when elaborating the innovation policy up to 2020 concerning the EU-countries, the United States and Japan, 40 priority innovative technologies were selected and 4 priority areas were established: nanotechnology, new materials (11 technologies); technologies of informational society (12 technologies); technologies related to the life sciences, genomics and biotechnology (8 technologies); technologies for sustainable development, global climate change and ecosystem (9 technologies). It was demonstrated, that analysis of the market for nanotechnology products, as submitted by the Russian specialists, helps to determine the components of the market for nanotechnology products, the bulk of the sales of which have formed nanomaterials, manufacturing, energy, medicine and biotechnology, as well as special equipment and instrumental base. Results of implementation of the target complex program of scientific research by the National Academy of Sciences of Ukraine «Fundamental problems of nanostructured systems, nanomaterials, nanotechnologies» for 2010-2013, the State scientific and technical target program «Nanotechnology and nanomaterials in Ukraine» for the 2012-2013, as well as the expected results from implementation of these programmes are presented.

Key words: nanotechnology, commercial implementation of nanotechnology, nanostructured systems, nanomaterials, nanoproducts.
Tabl.: 6. **Bibl.:** 12.

Moiseienko Yuri M. – Applicant, Research Centre of Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (pl. Svobody, 5, Derzhprom, 7 pidyizd, 8 po-verkh, 61022, Ukraine)

ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ

ЕКОНОМІКА

Сьогодні саме нанотехнології стають з'єднуючою ланкою між іншими революційними технологічними напрямками, які виникли за останні 20 – 30 років: комп'ютерної революції останньої третини ХХ століття, біотехнологічної революції останнього десятиліття минулого століття та бурхливого прогресу когнітивної науки на початку ХХІ століття.

В Україні також проводяться фундаментальні та прикладні дослідження у сфері нанотехнологій у таких напрямках, як: медицина (зокрема, венерологія), біологія, сільське господарство, екологія, енергетика, промисловість, освоєння космосу, кібернетика, електроніка та інші [1]. Водночас, пріоритети цих досліджень потребують уточнення відповідно до глобальних проблем,

які необхідно вирішувати будь-якій країні, у тому числі й з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення нанотехнологічних досліджень.

Вказана проблема розглядалась в роботах багатьох українських вчених, зокрема Шпака А. С., Гейця В. М., Малицького Б. А., Поповича О. С., Онопрієнко М. В., Соловйова В. П., Воронова С. А., Кизима М. О., Матюшенка І. Ю., Сідненка М. В., Андрощука Г. О., Якимчука А. В., Кваші Т. К., Березняка Н. В., Рагулі А. В., Крячєка В. М., Віннікової Н. М., Богорош А. Т. та багатьох інших. Водночас, в умовах бурхливого розвитку нанотехнологічних досліджень і початку широкої комерціалізації вказаних досліджень у провідних країнах світу, постає актуальне питання перегляду напрямків нанотехнологічних досліджень в Україні.

Масовому застосуванню результатів нанотехнологічних досліджень поки перешкоджають, головним чином, відсутність зручних високопродуктивних технологій одержання й розсортування наноструктур і, як наслідок, висока вартість. Водночас, у ряді галузей це не є вирішальним чинником. Так, можливості застосування нових продуктів і технологій в медицині, оборонній промисловості й національній безпеці слабко залежать від їхньої вартості.

У своєму аналітичному докладі 2006 р. американська компанія RandCorp. (США) на основі оцінок як американських, так і зарубіжних експертів виокремила 56 конвергентних нанотехнологій, з яких 16 мають високу ймовірність комерційного використання, що представлено в табл. 1 [2].

Таблиця 1

Області технічних можливостей 16 нанотехнологій у найбільш перспективних напрямках для комерційного використання до 2020 р.

№ з/п	Галузь	Найменування технологічних областей конвергенції	Характеристика областей технологічної конвергенції
1	2	3	4
1	Медичне обслуговування	1.1. Цільова доставка лікарських засобів в організм людини	Лікарська терапія, яка на преференційній основі буде доставляти лікарський засіб до конкретної пухлини або патогенним мікроорганізмам для впливу на них без шкоди для інших клітин і тіла
		1.2. Тканинна інженерія	Використання технологій проектування та імплантації або заміни людських органів на основі живих тканин
		1.3. Покращені методи діагностики і хірургії	Методи, що підвищують точність і ефективність хірургічних процедур, зменшуючи інвазійність новоутворень і час на оздоровлення
2	Сільське господарство	2.1. Генетично модифіковані злакові та лісові культури	– Виробництво продовольчих товарів з покращеними їстівними властивостями на основі використання можливостей генної інженерії; – збільшення виробництва продовольства на основі адаптації до місцевих умов злакових культур; – зменшення використання пестицидів шляхом посилення опірності сільськогосподарським шкідникам
3	Екологія і ресурсозбереження, середовище для життя	3.1. Дешеві автономні будівлі	Дешеві житлові будівлі, що самодостатні за енергоспоживанням для опалення, охолодження і приготування їжі й адаптовані до місцевих умов
		3.2. Технології «зеленого» виробництва	Перебудова виробничих процесів в обробній промисловості, які усувають або значно зменшують відходи виробництва та необхідність використання для цього токсичних матеріалів
		3.3. Швидке біотестування	Технології дозволяють здійснювати швидке тестування на наявність або відсутність тих чи інших специфічних біологічних речовин у різних середовищах
		3.4. Фільтри і каталізатори	Техніка, обладнання і матеріали, зокрема для очищення води
4	Енергетика і енергозбереження	4.1. Сонячна енергетика	Використання дешевих геліоустановок (сонячних систем) для опалення приміщень і гарячого водопостачання, особливо у країнах, що розвиваються
5	Електроніка та ІКТ	5.1. Комунікаційне обслуговування для доступу до інформації, що повсюди	Буде мати великий потенціал зі збереження мета-текстів і усіх типів мультимедійної інформації
		5.2. Сільські бездротові комунікаційні системи	Широке розповсюдження бездротової комунікаційної інфраструктури для телефонного та Інтернет-зв'язку

1	2	3	4
		5.3. Мініатюрні комп'ютери	Комп'ютерні пристрої, вмонтовані в одягу, сумки, ювелірні прикраси тощо
		5.4. Квантова криптографія	Використання квантових методів для кодування інформації при її передаванні
		5.5. Повсюдна радіочастотна ідентифікація особи та комерційних товарів	Широке застосування ідентифікаційних радіочастотних технологій при визначенні особи, а також при маркуванні товарів, що надходять на ринок
6	Технічні засоби шостого укладу	6.1. Гібридні автомобілі	Надходження на ринок автомобілів з комбінованими двигунами, що працюють від різних джерел
		6.2. Дешеві сенсори	Наявність сенсорів у більшості місць загального призначення та створення мереж сенсорів дозволить здійснювати спостереження в режимі реального часу, у тому числі для боротьби з міжнародним тероризмом

Джерело: складено за [2, с. 99 – 102].

Крім того, у країнах ЄС у 2004 – 2005 рр. був виконаний проект технологічного форсайту, що охоплює період 2015 – 2030 рр. і наступні роки. Результати цього форсайту використовувались при розробці інноваційної політики країн ЄС, а також США і Японії. У результаті аналізу були відібрані 40 пріоритетних інноваційних технологій і встановлені 4 пріоритетні області:

- ✦ нанотехнології нові матеріали (11 технологій);
- ✦ технології інформаційного суспільства (12 технологій);

- ✦ технології наук про життя, геноміки і біотехнології (8 технологій);
- ✦ технології сталого розвитку, глобальної зміни клімату і екосистеми (9 технологій).

У табл. 2 представлені форсайт-оцінки ЄС етапів і очікуваних термінів створення пріоритетних інноваційних технологій, що мають пряме або опосередковане відношення до NBIC-технологій [2, с. 126 – 127].

Класифікація секторів ринку нанопродуктів, представлена російськими фахівцями [3], дозволила провес-

Таблиця 2

Форсайт-оцінка пріоритетних інноваційних технологій XXI століття в країнах ЄС, США і Японії в період 2015 – 2030 рр.

№ з/п	Галузь	Пріоритетні технології	Рік				
			2015	2020	2025	2030	Після 2030
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Медичне обслуговування	1.1. Застосування стовбурових клітин для лікування різних захворювань людини	E*	E/G	G	M	M
		1.2. Тканинна інженерія	E	G	G	M	M
		1.3. Технології виробництва персоніфікованих лікарських препаратів і лікування	E	G	G	M	M
		1.4. Біогенетичні матеріали	E	E	G	M	M
		1.5. Геном людей, протеоміка	E	E	E/G	M	M
		1.6. Хірургія на основі комп'ютерних технологій	E/G	G	G	M	M
		1.7. Протеїновий інжиніринг	E	G	G	M	M
		1.8. Технології широко масштабного аналізу ДНК	E	E	G	M	M
		1.9. Нові інструменти для проведення діагностики на живому організмі (in-vivo)	E	E	E	G/M	M
		1.10. Клітинна терапія	E	E	E	E	G/M
		1.11. Використання нанотехнологій і наночастинок в терапії	E	E	E	E	E
		1.12. Діагностична техніка і «ремонт» людських органів	E	G	G	M	M
		1.13. Штучні «інтелектуальні кінцівки» людини	E	E	E	E	E

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Екологія і середовище для життя	2.1. Технології поглинання і збереження CO ₂	E	G	G	M	M
		2.2. Нові технології очищення повітря і води	E	G	G	M	M
		2.3. Активні пакувальні матеріали	E	G	G/M	M	M
		2.4. Біоактивні матеріали і покриття	E	E	G	M	M
3	Енергетика та енергозбереження	3.1. Технології більш ефективного енергоспоживання	E	G	M	M	M
		3.2. Недорогі високоефективні фотоелементи для сонячних батарей	E	G	G	M	M
		3.3. Нові технології для паливних елементів	E	G	G	M	M
		3.4. Біопалива	E	G	G	M	M
		3.5. Нові технології збереження енергії	E	G	G	M	M
		3.6. Термоядерна енергія	E	E	E	E	E
4	Електроніка і ІКТ	4.1. Реалізація глобального логістичного ланцюжка	G	G/M	M	M	M
		4.2. Логістичні ланцюжки, основані на використанні усюди радіочастотних ідентифікаторів (RFIDs)	E	E	E	M	M
		4.3. Програмні технології для трансферу цифрових даних	E/G	E/G	M	M	M
		4.4. Сучасні технології для збирання даних і системи збереження інформації високої продуктивності	E	G	G	M	M
		4.5. Широкопasmові мережі	E	E/G	G/M	M	M
		4.6. Мобільні комунікації (4-е покоління мобільних телефонів)	E	G	M	M	M
		4.7. Сучасні технології для віртуальної реальності	E	G	G	M	M
		4.8. Проектування структур з інтелектуальною поведінкою і зворотними реакціями	E	E/G	G	M	M
		4.9. Повне моделювання при здійсненні трансформації матеріалів та інтеграції в базах даних – «Віртуальна хімія»	E	E	G	G/M	M
		4.10. Технології застосування вмонтованих одиничних чипів	E	E	E/G	M	M
		4.11. Відеосенсори	E	G	M	M	M
		4.12. Мікросенсори і наносенсори	E	E	E	E	E
		4.13. Біочипи	E	E	E	E	E
5	Матеріали та технології	5.1. Нанокompозитні матеріали та нанометричні підсилення матеріалів в електроніці, хімії, медицині тощо	E	E	E	G	M
		5.2. Надтонкі функціональні покриття	E	G	G	M	M
		5.3. Структурно «розумні» матеріали	E	E	G	M	M
		5.4. Матеріали, що відтворюються і придатні для повторного використання	E	G	G	G	M
		5.6. Багатоцільові інтелектуальні і мобільні роботи	E	G	G	G	M

Примітки: E – очікувані (що розробляються) технології; G – технології, що знаходяться у стадії зростання; M – остаточно розроблені технології, що використовуються для виробництва товарної продукції та її комерціалізації. Термін остаточної розробки технології охоплює 10 – 15 років; очікувані терміни комерційного використання – до 15 років.

Джерело: складено за [2, с.126 – 127].

ти 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 наявної динаміки рейтинг секторів за обсягами продажів і в найближчій перспективі у 2009 – 2014 рр. збережеться (табл. 3) [3, с. 61].

При цьому найбільше зростання очікується в електронній промисловості, що, можливо, перемістить цей сектор з останньої рейтингової позиції.

Вартість реалізованих споживчих товарів з використанням нанопродуктів і (або) нанотехнологій більше продажів первинних нанопродуктів практично у 35 разів і склала 773,5 млрд дол. Такий розрив пояснюється існуючою практикою повного врахування (іноді абсурдного) вартості всього споживчого продукту при визначенні вартості нанопродукту. У результаті фактична ємність світового ринку нанопродуктів у 2009 р. досягла вели-

чини у 797,2 млрд дол. Основні реалізовані споживчі нанопродукти представлені в автомобілях, електричних та електронних товарах, продуктах харчування, у побутовій хімії, фотографії та оптиці.

У табл. 4 представлено 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. (%) [3, с. 63].

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 [4 – 6]. Вказана програма складається з 4-х розділів: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [6].

Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2010 – 2013 рр. наведено в табл. 5 [7 – 10].

Таблиця 3

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

№ з/п	Сектор ринку нанопродуктів	Обсяг продажів у 2014 р., млн дол. США	Середньорічне зростання у 2009 – 2014 рр., %
1	Наноматеріали	16702,9	10,6 (3)
2	Обробна промисловість та інші застосування	6 396,4	10,1 (4)
3	Енергетика	6028,6	9,2 (5)
4	Медицина і біотехнології	4642,3	12,1 (2)
5	Електроніка та ІКТ	1 750,8	26,2 (1)
	Усього	35521,0	

Джерело: складено за [3, с. 61].

Таблиця 4

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	2	3	4	5	6	7
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 та 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

Джерело: складено за [3, с. 63].

Найбільш значущі результати виконання цільової комплексної програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2010 – 2013 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2010	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Встановлено можливість здійснення за допомогою позитронів неруйнівного контролю якості великих партій вуглецевих нанотрубок і діагностики їх дефектів як у розташуванні шарів, так і в графенових шарах	Неруйнівний контроль та діагностика дефектів нанотрубок	Електроніка, ІКТ	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, ІКТ	—«—
	Хімія наноматеріалів і наноструктур	Відпрацьовано методики одержання колоїдів графеноксида у водних розчинах та їх стабілізації анонімними поверхнево-активними речовинами	Нові матеріали – графен-оксида	Електроніка, ІКТ	—«—
	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 феромагнетика на структурно-функціональні та токсикологічні характеристики пухлинних клітин. Показано, що прояв генотоксичної дії наночастинок металів залежить від їх природи та розміру. Експериментально підтверджено, що наночастинок золота розміром 30 нм є найбільш біосумісними та біобезпечними як засоби цільової доставки препаратів	Наночастинок металів, перспективні як засоби цільової доставки препаратів	Медицина	Депопуляція та старіння населення
2011	Фізика та діагностика нанорозмірних систем				Технологічне відставання (6 уклад)
	Хімія наноматеріалів і наноструктур				
	Технології наноматеріалів	Розроблено спосіб одержання нанокompозиту алмаз-карбід-вольфраму з добавками наночастинок шляхом спікання в умовах високих тиску та температури	Нанокompозит з високими твердістю та тріщиностійкістю	Нові матеріали	—«—
	Біонаносистеми	При дослідженні пухлинних клітин з асцитною карциномою Ерліха встановлено, що присутність наночастинок – вуглецевих нанотрубок викликала сповільнення процесів пухлинного росту	Основа для створення протипухлинних ліків, що сприяють посиленню апоптозу	Медицина, фармацевтика	Депопуляція та старіння населення

1	2	3	4	5	6
		Одержано функціональні флуоресцентні композити, які в ядрі наночастинок містять флуоресцеїн, а на поверхні – реакційну функціональну оболонку. Показано, що використання флуоресцеїн-мічених носіїв для доставки ліків здатне вирішити кілька принципово важливих проблем для фармакології і терапії	Більш ефективна доставка ліків до клітин-мішеней за рахунок зниження їх діючої дози. Візуалізація проникнення нанокompозитів у клітину за допомогою флуоресцентної мітки	–«–	–«–
2012	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Вироблено наукові рекомендації для покращення технологій отримання: – наногранульованих магнітних плівок; – високоефективних швидкодіючих нелінійних матеріалів на основі металевих наноструктур; – вуглецевих нанотрубок; – оксидних наноплівки	Використання у: – спінтроніці; – пристроях керування світловими потоками; – газових сенсорах; – промислового каталізі та захисті металів від корозії	Електроніка, ІКТ, машинобудування	Технологічне відставання (6 уклад)
		Створено оригінальний кремнієвий польовий транзистор для виявлення терагерцового/субміліметрового випромінювання. На його основі спроектовані посилювач і приймач	Застосовування в пристроях нічного бачення, дефектоскопії, в акустично-оптичних терагерцових перетворювачах	Електроніка, ІКТ, машинобудування	–«–
	Хімія наноматеріалів і наноструктур	Досліджено структуру і механічні властивості нанорозмірних та ультрадисперсних шарів тертя на поверхні вуглецевих сталей, що дало змогу з'ясувати вплив мастильно-охолоджуючих рідин на формування таких шарів. Винайдено ефективний механо-хімічний метод одержання оксиду графену з різним ступенем окиснення без застосування агресивних середовищ	Нанопокриття для поверхонь тертя	Наномеханіка, нові матеріали	–«–
		Розроблено термохімічну технологію гідрофобізації волокнистих матеріалів що зменшує їх водопоглинання, підвищує мікробіологічну стійкість і вогнетривкість, забезпечує стабільне підвищення теплоізоляційних характеристик на 50% за умов високої вологості та перепадів температури	Використання в будівництві, житлово-комунальному господарстві, на теплотрасах і трубопроводах, у холодильному обладнанні	Нові матеріали	–«–
	Технології наноматеріалів	Розроблено технологію зварювання жароміцних сплавів та інтерметалідних матеріалів на нікелевій і титановій основах і використанням наносаруватих покриттів і фольги	Дає можливість істотно підвищувати якість та надійність деталей газотурбінних агрегатів нового покоління	Авіакосмічний комплекс	–«–
Розроблено спосіб одержання спечених об'ємних композитів Cu-W ₃ невеликим вмістом W, які мають підвищену електропровідність, твердість, міцність та пластичність		Можливість широкого використання як багатофункціональних матеріалів	Нові матеріали	–«–	

1	2	3	4	5	6
	Біонаносистеми	Розроблено технологію синтезу сферичних наночастинок заліза розміром до 40 нм, модифікованих аскорбіною кислотою, перспективних у створенні високоефективного протианемійного препарату нового покоління	Профілактика та лікування залізо-дефіцитної анемії та анемії хронічних захворювань	Медицина, фармацевтика	Депопуляція та старіння населення
		Синтезовано каліксарени, які служать перспективними молекулярними платформами для створення ліків нового покоління	Антитромботичні препарати і засоби лікування порушень скорочувальної функції гладеньких м'язів	Медицина, фармацевтика	—«—
		Синтезовано та досліджено низку нанобіоматеріалів, які застосовуються у медицині, сільському господарстві та харчовій промисловості	Новий клас анти-тромботичних і протимікробних препаратів; біокерамічних імплантів; носіїв фармпрепаратів цільового призначення; нових діагностичних і сенсорних тест-систем	Медицина, фармацевтика, біотехнології	—«—
2013	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Вперше виготовлено ефективний органічний фототранзистор на основі напівпровідникових фулеренів (C60), що характеризується високою чутливістю	Створено базис для реалізації високоефективних органічних фото-детекторів і елементів оптичної пам'яті	Електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)
		Виявлено ефект оптичного обмеження інтенсивності при взаємодії наносекундних лазерних імпульсів з тонкими наноструктурованими плівками карбїду кремнію різних політипів	Створення оптичних перемикачів та обмежувачів, що працюють в умовах високих і низьких температур, хімічно агресивної атмосфери та значних радіаційних навантажень	Електроніка, ІКТ	—«—
		Вивчено лазерно-індуковані процеси перемагнічення і зміни провідності феромагнітних тунельних наноструктур під впливом надкоротких імпульсів поляризованого лазерного випромінювання	Вказані структури можуть бути елементами лазерно-керованого спіно-поляризованого струму	Електроніка, ІКТ	—«—
	Хімія наноматеріалів і наноструктур	Розроблено технології отримання нанорозмірних напівпровідникових структур на основі твердих розчинів PbTe – SnTe із заданими термоелектричними властивостями (оптимальною термоелектричною добротністю)	Наноструктури із заданими товщиною, розміром і густиною	Електроніка, ІКТ	—«—
	Технології наноматеріалів	Методом скручування крупнозернистого титану під тиском при температурах 300 та 77 К отримано його нові наноструктурні стани, які мають високу міцність та пластичність	Застосування такого титану для створення нових конструкційних матеріалів	Нові матеріали	—«—

1	2	3	4	5	6
		Досліджено вплив нанорозмірних оксидних частинок на механічні властивості міді у середовищі водню під високим тиском	Дісперснозміцнена мідь, що нечутлива до водневого окрихнення і має високу стійкість до радіаційного розпухання	Енергетика	—«—
		Синтезовано нанокompозит алмазкарбід вольфраму і проведено оцінку його експлуатаційних характеристик при лезовій обробці матеріалів	Робочий елемент з такого нанокompозиту дозволяє точити з високою продуктивністю та високою якістю поверхні	Нові матеріали	—«—
	Біонаносистеми	Синтезовано та досліджено нові Gd-B-вмісні нанокompозити на основі нанорозмірного магнетиту, розроблено методику їх модифікування імуноглобуліном. Запропоновано методи формування функціонального шару амінобісфосфонату на поверхні модифікованого магнетиту для подальшої функціоналізації комплексами з хелатованим Gd ³⁺	Використання вказаних нанокompозитів у нейтронозахватній терапії онкозахворювань та комплексної МРТ діагностики в медицині	Медицина	Депопуляція та старіння населення
		У дослідженнях <i>in vivo</i> на моделі залізодефіцитної дієти вивчено ефективність синтезованих біобезпечних наночастинок заліза 40 нм як потенційної фармацевтичної субстанції з більш вираженими протианемійними властивостями. Розроблено метод синтезу таргетних, функціоналізованих фолатами та модифікованих полісахаридами наночастинок платини та досліджено їх вплив на пухлинні клітини різного онкогенезу	Фармацевтична субстанція з більш вираженими протианемійними властивостями. Наночастинки із селективною токсичною дією на ракові клітини	Медицина	—«—
		Досліджено вплив наноматеріалів різної природи (фулерени, нанотрубки, наночастинки золота, магнітна рідина) на фенотипові та цитогенетичні особливості нормальних і пухлинних клітин	Наноматеріали у низьких концентраціях стимулюють проліферативні ефекти у клітинах мезенхімального походження	—«—	—«—
		Запропоновано нові конструкції магнітних систем для створення магнітних сил, що діють на наночастинки в заданому об'ємі біологічного об'єкта. Показано можливість переважного концентрування наночастинок у різних частинах об'єкта за допомогою змінних полюсних наконечників	Створено дослідний зразок магнітної системи зі змінними полюсними наконечниками для можливої адресної доставки ліків	—«—	—«—

Джерело: складено за [7–10].

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 [11]. Очікуваними *результатами виконання програми* стануть: розробка нанотехнологій, нанобіотехнологій, дослідно-промислових технологій; виготовлення наноматеріалів, вимірювальних приладів, типономіналів; створення біоелементів, біосенсорів, нанофотокаталізаторів; утворення підрозділів, центрів сертифікації; впровадження нанотехнологій. Програмою також припускається створення базових наукових кафедр за спеціальностями:

«Нанофізика», «Наноелектроніка», «Нанобіомедицина», «Наноматеріалознавство» в усіх вузах держави [12].

За вказаною програмою у 2010 р. було проведено конкурс науково-технічних проектів, на який надійшло 315 проектів. У зв'язку з тим, що коштів для виконання завдань та заходів цієї програми було виділено значно менше від запланованих, лише 120 проектів було прийнято до фінансування (*якого к 2011 р. взагалі не було виділено*). У реалізації цієї програми беруть участь наукові колективи 40 установ НАН України.

Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2012 – 2013 рр. наведено в *табл. 6* [9; 10].

Таблиця 6

Найбільш значущі результати виконання цільової комплексної програми Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» за 2012 – 2013 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2012	Наноматеріали	Розроблено технології виготовлення нанопорошків на базі ZrO ₂ та підготовлено бізнес-план будівництва підприємства з виробництва таких нанопорошків і керамічних виробів з них. Матеріали на основі нанопорошків на базі оксиду цирконію мають термін експлуатації в 30 – 50 разів більший, порівняно з металевими аналогами	Матеріали будуть використовуватися в піскострумінних апаратах, протезах суглобів, паливних елементах	Будівництво, медицина, енергетика	Технологічне відставання (6 уклад), медицина
		Отримано нові нанорозмірні матеріали на основі кремнію та літій-залізо-фосфату	Використання в літій-іонних акумуляторах з максимально високими електрохімічними параметрами	Енергетика	Нова енергетика
		Виготовлено нанокерамічні матеріали на основі нітриду кремнію з низьким коефіцієнтом тертя, що збільшує ресурс роботи механізмів у 2-3 рази. Такі матеріали можна експлуатувати за високих температур і в агресивних середовищах	Використання в авіадвигунах і турбінах	Авіакосмічний комплекс	Технологічне відставання (6 уклад)
	Нанотехнології	Розроблено дослідну технологію отримання наноструктурованих титанових сплавів	Виробництво лопаток турбін авіадвигунів	Авіакосмічний комплекс	—«—
		Розроблено технології одержання промислових наноструктурованих покриттів цинк-силікатних покриттів	Протикорозійний захист металопрокату	Машинобудування	—«—
	Нанобіотехнології	Виготовлено імунонанокон'югати для високочутливого виявлення в плазмі крові біомаркерів	Виявлення ранніх стадій нейродегенеративних і онкологічних захворювань	Медицина	Медицина
Удосконалено технології одержання різних видів наноструктурованої біоактивної кераміки		Дослідно-промислове виготовлення імплантатів для відновлення кісткової тканини і адресної доставки ліків	Медицина	Медицина	—«—
2013	Наноматеріали	На основі квантово-механічних розрахунків досліджено теорію явища магнітного впорядкування в розбавлених магнітних напівпровідниках	Застосування при розробці базових матеріалів спінтроники	Електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)

1	2	3	4	5	6	
		Отримано тестові структури з використанням керованих локальних електрохімічних реакцій окислення та масопереносу на поверхні напівпровідникових матеріалів	Використання як елементів енерго-незалежної пам'яті нового покоління	—«—	—«—	
		Розроблено нанокompозити із структурою ядро-оболонка на основі графену, LiFePO ₄ та електропровідного полімеру. Ці нанокompозити демонструють більш високі експлуатаційні характеристики в акумуляторах, ніж існуючі	Використання як катоду в літійєвих акумуляторах	Енергетика	Нова енергетика	
		Одержано нанокompозити й наногетероструктури на основі графену, оксидів Ti, Mn, W і селеніду кадмію	Електроди фотоелектрохімічних систем перетворення сонячної енергії	Енергетика	Нова енергетика	
		Встановлено можливість застосування нанокompозиційних полімерних матеріалів як оптичних клеїв для з'єднання конструкційних елементів при виготовленні оптико-електронних пристроїв	Використання при виготовленні оптико-електронних пристроїв	Електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)	
	Нанотехнології	Розроблено водну і безводну технології вирощування нанокристалів благородних металів, що є важливим для розробки фізичних принципів керованого формування двовимірних наноструктур на основі органічних молекул і металевих наночастинок	Технологія одержання нових наноматеріалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (6 уклад)	
		Розроблено технологічну схему виготовлення малогабаритного чипа сенсора температури на основі наноструктурованих шарів високоомного карбїду кремнію на сапфірі	Створення високонадійних приладів контролю температури техпроцесів	Сенсори	—«—	
		Підготовлено ескїзну конструкторську документацію для побудови субгармонійних змішувачів на діодних бар'єрах Шоткі та виготовлено експериментальні зразки таких змішувачів для робочого діапазону частот 325 – 400 ГГц	Новітні системи радіолокації, радіонавігації, радіобачення, експериментального і наукового приладобудування	Електроніка, ІКТ	—«—	
		Розроблено і атестовано Державним підприємством «Укрметртестстандарт» методику вимірювання товщинного розподілу елементного складу та товщини багатшарових твердотільних покриттів нанометрових розмірів методом мас-спектрометрії вторинних нейтральних часток	Діагностика наноматеріалів, наноструктур і аморфних сплавів	Нові матеріали	—«—	
		Розроблено дослідно-промислові технології отримання нанопорошків титанату барію, нітридів бору і титану, карбонїтриду титану та запроєктовано ділянку дослідно-промислового виробництва порошків	Створення деталей до приладів пасивної електроніки	Електроніка, ІКТ	—«—	
		Нанобіотехнології	Підготовлено проект типового регламенту виробництва біоактивних порошків гідрокиапату і трикальційфосфату з адсорбованими ліками	Адсорбовані ліки для клінічного застосування	Медицина	Депопуляція та старіння населення

Джерело: складено за [9; 10].

ВИСНОВКИ

Отже, можна зробити такі висновки:

1. Вкрай важливо створити в Україні систему довгострокового прогнозування і стратегічного планування науково-технічного та інноваційного розвитку. При цьому, перш за все, необхідно оцінити наявність в Україні проривних досліджень і розробок у сфері нанотехнологій, визначити можливість їх комерціалізації і вплив на економічний розвиток країни, а також вирішення енергетичних проблем.

2. Основою стратегічного планування науково-технічного та інноваційного розвитку повинні бути цільові програми, які забезпечать ефективне використання коштів, що виділяються на вказані цілі. У свою чергу, в основі вказаних цільових програм мають бути проекти різної значущості: національні, регіональні або локальні.

3. Сполучення програмно-цільового і проектно орієнтованого підходів забезпечить практичне втілення цільових програм по кожному з пріоритетних напрямів науково-технічного і інноваційного розвитку. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Кизим М. О. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.

2. Казанцев А. К. NBIC-технологии: Инновационная цивилизация XXI века / А. К. Казанцев, В. Н. Кисилев, Д. А. Рубальтер, О. В. Руденский. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 384 с.

3. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев и др. ; под. ред. Г. Л. Азоева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.

4. Моїсеєнко Ю. М. Перспективи розвитку нанотехнологічних досліджень в Україні / Ю. М. Моїсеєнко // Електронний додаток до матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики», 14 – 15 листопада 2014 р. Тези доповідей учасників конференції. – Х., 2014. – 424 с. – С. 402 – 417.

5. Про виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» за 2007 – 2009 рр. / Постанова НАНУ № 129 від 05.05.2010 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/Pages/129.aspx>

6. Концепція цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» за 2010 – 2014 рр. / Додаток до Постанови НАНУ № 129 від 05.05.2010 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/100505_129_concept.pdf

7. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2010 році. Ч. 2. – К. : ВД «Академперіодіка», 2011. – 194 с.

8. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2011 році. Ч. 2. – К. : ВД «Академперіодіка», 2012. – 198 с.

9. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2012 році. – К. : ВД «Академперіодіка», 2013. – 564 с.

10. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2013 році. – К. : ВД «Академперіодіка», 2014. – 560 с.

11. 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>

12. 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>

REFERENCES

Azoev, G. L. et al. *Rynok nano: ot nanotekhnologiy - k nano-produktam* [Market nano from nanotechnology - to nanoproducts]. Moscow: BINOM; Laboratoriia znaniy, 2011.

Kazantsev, A. K. et al. *NBIC-tekhnologii: Innovatsionnaia tsivilizatsiia XXI veka* [NBIC-technologies: Innovative civilization of the XXI century]. Moscow: INFRA-M, 2012.

Kyzym, M. O., and Matiushenko, I. Yu. *Perspektyvy rozvytku i komertsializatsii nanotekhnolohii v ekonomikakh krain svitu ta Ukrainy* [Prospects for the development and commercialization of nanotechnology by country and Ukraine]. Kharkiv: INZhEK, 2011.

“Kontseptsiia Derzhavnoi tsilyvoi naukovo-tekhnichnoi prohramy «Nanotekhnolohii ta nanomaterialy» na 2010 – 2014 rr.” [Concept of the National Scientific and Technical Program "Nanotechnologies and Nanomaterials" in 2010 – 2014]. <http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/nanoprogramms/Pages/WorkingGroup.aspx>

[Legal Act of Ukraine] (2010). <http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/Pages/129.aspx>

[Legal Act of Ukraine] (2010). http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/100505_129_concept.pdf

[Legal Act of Ukraine] (2009). <http://zakon.nau.ua/doc/?code=1231-2009-%EF>

Moiseienko, Yu. M. “Perspektyvy rozvytku nanotekhnolohichnykh doslidzhen v Ukraini” [The prospects of nanotechnology research in Ukraine]. *Konkurentospromozhnist ta innovatsii: problemy nauky ta praktyky*. Kharkiv., 2014.402-417.

Zvit pro diialnist Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy u 2010 rotsi [Annual Report of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2010]. Kyiv: Akademperiodika, 2011.

Zvit pro diialnist Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy u 2011 rotsi [Annual Report of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2011]. Kyiv: Akademperiodika, 2012.

Zvit pro diialnist Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy u 2012 rotsi [Annual Report of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2012]. Kyiv: Akademperiodika, 2013.

Zvit pro diialnist Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy u 2013 rotsi [Annual Report of the National Academy of Sciences of Ukraine in 2013]. Kyiv: Akademperiodika, 2014.