

3.2. Наноіндустрія як найважливіша умова становлення інноваційного суспільства в Україні

Швидкий розвиток передових технологій забезпечує інновації в суперстислих часових рамках – від картування геному людини до клонування суперкомп'ютерів і Інтернету. Ми, як користувачі, вступаємо в еру прискорених технологічних розробок, які мають все більш важливе економічне значення. Швидкий розвиток нових технологій вийшов за межі нашої здатності точно прогнозувати їхній вплив на економіку, бізнес та суспільства. Необхідно підійти до цього виклику з новими прогнозними моделями, які призначені для реального часу складних змін, які зумовлені інноваційними технологіями. Це, мабуть, найбільш актуально для досліджень у сфері нанотехнологій.

Як відомо, нанотехнології використовують технологічні системи дуже малого розміру, які здатні виконувати запрограмовані команди людей. Межею такого технологічного розвитку можна вважати машини розміром з молекулу. Механізм, побудований з ковалентно пов'язаних атомів, надзвичайно міцний, швидкий і малий. Розробкою, створенням та управлінням такими пристроями займається молекулярна нанотехнологія. Ця галузь відкриває небачені раніше, фантастичні перспективи взаємодії людини зі світом.

Під поняттям нанотехнології розуміють сукупність процесів, які дозволяють створювати матеріали, пристрої і технічні системи, функціонування яких визначається наноструктурою, тобто її впорядкованими фрагментами розміром від 1 до 100 нм (10^{-9} м; розмір атомів, молекул)¹. Грецьке слово «нанос» приблизно означає «гном». При зменшенні розміру частинок до 100^{-10} нм і менших властивості матеріалів (механічні, каталітичні і т. д.) істотно змінюються. Для порівняння, діаметр людської волосини складає близько 50 мкм і це у 50000 разів більше, чим розмір 1 нм. Крім того, середній діаметр бактерії стрептококку складає $0,321 \pm 0,007$ мкм, у той же час розмір атому водню є у діапазоні від 0,1 до 0,2 нм.

¹ Нанотехнології [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Нанотехнології>.

У Технічному комітеті ISO / ТК 229 під нанотехнологіями розуміється:

- знання та управління процесами, як правило, у масштабі 1 нм, але не виключаються розміри менші 100 нм, в одному або більше вимірах, коли введення в дію розмірного ефекту (явища) приводить до можливості нових застосувань;
- використання властивостей об'єктів і матеріалів у нанометровому масштабі, які відрізняються від властивостей окремих атомів або молекул, а також від об'ємних властивостей речовини, основними складовими яких є атоми або молекули, для створення досконаліших матеріалів, приладів, систем, що реалізують ці властивості.

Передусім слід наголосити, що батьком нанотехнології можна вважати грецького філософа Демокріта¹. Близько 400 р. до н. е. він уперше для опису найменшої частки речовини почав використовувати слово «атом», що в перекладі з грецької означає «неподільний». Його ідеї знайшли своє продовження в роботах багатьох науковців.

1905 рік. Швейцарський фізик Альберт Ейнштейн опублікував працю, в якій доводив, що величина молекули цукру становить приблизно 1 нанометр.

1931 рік. Німецькі фізики Макс Кнолл і Ернст Руска створили електронний мікроскоп, що вперше дозволив досліджувати наноб'єкти.

1959 рік. Американський фізик Річард Фейнман уперше опублікував працю, у якій оцінювалися перспективи мініатюризації.

1968 рік. Співробітники наукового підрозділу американської компанії Bell Альфред Чо і Джон Артур розробили теоретичні основи нанотехнології при обробці поверхонь.

1974 рік. Японський фізик Норіо Танігучі ввів у науковий обіг слово «нанотехнології» (від грецького слова «нанос»), яким запропонував називати механізми, розміром менші за один мікрон.

1981 рік. Німецькі фізики Герд Бінніг і Генріх Рорер створили мікроскоп, здатний показувати окремі атоми.

¹ Стан та перспективи розвитку досліджень у галузі наносистем і наноматеріалів в Україні [Електронний ресурс] // Національна академія наук України. Новини / Прес-служба НАН України. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/UA/news/Pages/contents.aspx?ffn1=ID&fft1=Eq&ffv1=2128>.

1985 рік. Американські фізики Роберт Керл, Гарольд Крото і Річард Смайлі створили технологію, що дозволяє точно вимірювати предмети, діаметром в один нанометр.

1986 рік. Нанотехнологія стала відома широкому загалу. Американський футуролог Ерк Дрекслер опублікував книгу, в якій передбачав, що нанотехнологія незабаром почне активно розвиватися.

1989 рік. Співробітник компанії ІВМ Дональд Ейглер виклав назву своєї фірми атомами ксенону.

1998 рік. Голландський фізик Сез Деккер створив транзистор на основі нанотехнологій.

1999 рік. Американські фізики Джеймс Тур і Марко Рід визначили, що окрема молекула здатна поводитися так само, як молекулярні ланцюжки.

2000 рік. Адміністрація США підтримала Національну ініціативу в галузі нанотехнології (National Nanotechnology Initiative). Нанотехнологічні дослідження одержали державне фінансування. Тоді з федерального бюджету було виділено 500 млн доларів. У 2002 сума асигнувань була збільшена до 604 млн доларів.

2003 рік. Конгрес США прийняв акт щодо досліджень і розвитку нанотехнологій у 21-го столітті (PL 108–153). Наомі Халас, Дженніфер Вест, Ревека Дрезек і Рената Паскуалін в Університеті Райса розробили золоті наноболонки, які при «настройках» розмірів для поглинання інфрачервоного світла служать платформою для комплексного виявлення, діагностики та лікування раку грудей без хірургічної біопсії, хірургічного втручання, руйнівного випромінювання або хіміотерапії.

2004 рік. Європейська комісія ухвалила комюніке «Європейська стратегія з нанотехнологій» COM (2004) 338, в якому пропонується інституціоналізація європейської наука і нанотехнологій. Королівське товариство Великої Британії і Королівська інженерна академія опублікували дослідження «Нанонауки та нанотехнології: можливості та невизначеності», у якому звертають увагу на необхідність висвітлення потенціалу нанотехнологій у галузі здоров'я, екології, та соціальних, етичних і нормативних питань.

2004 рік. В університеті Олбані SUNY була запущена перша освітня програма у Сполучених Штатах на рівні коледжу у сфері нанотехнологій, коледж нанорозмірних наук і техніки.

2005 рік. Ерік Уїнфрі і Пол Ротемунд з Каліфорнійського технологічного інституту розробили теорії для виконання обчислень на основі ДНК і методів «алгоритмічної самозборки», в яких обчислення є вбудованими в процес росту нанокристалів.

2006 рік. Джеймс Тур і його колеги в університеті Райса створили нанорозмірний фенілен етніленовий з алкінільними вісями і чотирма сферичними фулеренами C_{60} . Відповідно до підвищення температури «наноавто» переміщалося на золотій поверхні в результаті обертів коліс (фулеренів), як і в звичайному автомобілі. При температурі вище $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ він рухався занадто швидко для хіміків, щоб відслідковувати його.

2007 рік. Анжела Белчер і її колеги з Массачусетського технологічного інституту побудували літій-іонний акумулятор на основі загально-го типу вірусу, який є безпечним для людини, використовує недорогий та екологічно безпечний процес. Батареї мають таку саму потужність і енергетичну ефективність, як і акумулятори, що використовуються для живлення гібридних автомобілів, і вони також можуть бути використані для живлення персональних електронних пристроїв.

2008 рік. Надрукована перша офіційна стратегія NNI з нанотехнологій, які пов'язані з навколишнім середовищем, здоров'ям та безпекою. Робота була опублікована як результат дворічного процесу досліджень. Цей стратегічний документ оновлено у 2011 році після серії семінарів та громадського обговорення.

2009–2010 роки. Нейдріан Семан і його колеги з Нью-Йоркського університету створили кілька ДНК-подібних роботів для складання нанорозмірних пристроїв. Один із них призначений для процесу створення 3D структури ДНК з використанням синтетичних послідовностей кристалів ДНК, які можна запрограмувати на самозбірці за допомогою «липких кінців» і розміщення в заданому порядку та орієнтації. Нанoeлектроніка може скористатися цими досягненнями: гнучкість і щільність, які будуть досягнуті нанорозмірними 3D компонентами, можуть дозволити складання деталей, що менші, складніші, і розміщені ближче одна до одної. Також Seeman створив (разом з колегами із Нанкінського університету Китаю) «складальну лінію ДНК». За цю роботу Seeman разом з Kavli отримав премію в галузі нанонауки за 2010 рік.

2010 рік. IBM використала кремнієвий наконечник для вимірювання розмірів у декілька нанометрів (за аналогією з технологією електронних мікроскопів) для відокремлення частинок від матеріалу підкладки, щоб створити повну нанорозмірну 3D рельєфну карту світу розміром в 1 мільйонну частку кристалу солі за 2 хвилини і 23 секунди. Це досягнення продемонструвало, що віднайдена потужна методологія існує для створення наноструктур і структур, які є меншими 15 нм при значно нижчій вартості і складності, що відкриває нові перспективи для таких галузей, як електроніка, оптоелектроніка і медицина.

2011 рік. Оновлена офіційна стратегія NNI з нанотехнологій, які пов'язані з навколишнім середовищем, здоров'ям та безпекою. Цьому передувало широке обговорення проблем на публічних семінарах та он-лайн діалогах із зацікавленими сторонами в уряді, наукових колах, неурядових організаціях, громадськості тощо.

2012 рік. У рамках NNI запущено ще дві ініціативи – «Наносенсори» та «Інфраструктура нанотехнологічних знань», в результаті чого їх загальна кількість зросла до п'яти.

2013 рік. NNI починає черговий раунд стратегічного планування, старт був дан на семінарі зацікавлених сторін; дослідники у Стенфорді розроблюють перший комп'ютер на вуглецевих нанотрубках.

2014 рік. NNI випускає оновлену версію стратегічного плану (2014).

Нині спостерігається зростання кількості розробок нанотехнологічних виробів.

Наприклад, у Чехії є власний нанотехнологічний кластер. Він знаходиться в регіоні Оломоуц. До нього входять: виробник Сталевих конвеєрних стрічок и сіток «ТОВ Брати Вільгельм Топас», Компанії Ekotest-Aqua, ENVI-AQUA, Inova Pro, Leoš Milata (виробник тракторів і комунальної техніки), NanoTrade (нанотехнологічні процеси і матеріали). Також у Чехії успішно працює консорціум з дослідження наноструктурних полімерних матеріалів (на базі Інституту макромолекулярної хімії). В Інституті хімічної технології в Празі вивчаються наноструктури, тонкі плівки, наноелектроніка. В Інституті неорганічної хімії в Празі досліджуються наноматеріали і нанокон-

позити. А в Технічному Університеті Острава діє нанотехнологічний центр¹.

У столичному районі Масдар в Абу-Дабі знаходиться Інститут іМісто. Масдар – це нове місце, щоб жити й думати. Місто спроектовано «з нуля» так, щоб стати самим передовим містом у світі. Будівництво Масдара, розпочате у 2006 році, ще не завершено. До 2025 року місто Масдар, у будівництво якого буде вкладено 18 мільярдів доларів США, стане домівкою для 90 000 осіб. Тут будуть знаходитися штаб-квартири Siemens та Міжнародного агентства з поновлюваних джерел енергії (IRENA). Дослідники інституту іМісто розробляють датчики на основі оптичних мікроелектромеханічних систем, більш відомі як оптичні MEMS. Розміри цих крихітних пристроїв не перевищують розміру піщинки. При цьому MEMS мають відмінну швидкість роботи і низьке енергоспоживання. Ці пристрої можна зустріти в біомедицині, виробництві поновлюваних джерел енергії, аерокосмічній галузі. Їх можна виявити у смартфоні (датчик руху), струменевому принтері (датчик наявності чорнила), автомобілі (вони відповідають за пуск подушки безпеки). Такі датчики скрізь – в телефонах, автомобілях, медичних гаджетах, в деяких моделях годинників, одягу та взуття. У майбутньому ми побачимо їх в скейтбордах, тенісних ракетках, бейсбольних бітах та футбольних м'ячах.

Нанонаука забезпечує ряд можливостей і для переробки енергії сонця. Нанорідинні суспензії наночастинок в рідинах мають великий потенціал як об'ємні сонячні поглиначі. Такі дослідження також проходять в Інституті іМісто Університету Масдара.

Нанотехнології є основою для створення та функціонування на-ноіндустрії. Наноіндустрія – це інтегрований комплекс виробничих, наукових, освітніх і фінансових організацій різних форм власності, які проводять цілеспрямовану діяльність із створення інтелектуальної та промислової конкурентоспроможної наукомісткої продукції з високим рівнем доданої вартості і раніше недосяжними техніко-економічними показниками, заснований на високому науково-освітньому потенціалі держави, прогресивних проривних і міждисциплінарних

¹ Нанотехнологии в Чехии [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nano.com.ua/nanotechnology-v-chexii.html>.

дослідженнях, науково й економічно обґрунтованому практичному використанні нових нетрадиційних властивостей і функціональних можливостей матеріалів і систем різної фізико-хімічної та біологічної природи нанорозмірного рівня (коли щонайменше один із лінійних розмірів функціональних (базових) елементів знаходиться в діапазоні $10^{-7}\text{м} - 10^{-9}\text{м}$, тобто від 1 до 100 нм), що є проявом наномасштабних факторів¹.

До наноіндустрії можна віднести ті виробництва, продукція яких має властивості, що обумовлені нанорозмірним рівнем відповідних систем. Ці властивості можуть бути як макроскопічним проявом квантових закономірностей, так і внеском поверхневих атомів наночастинок у загальні властивості матеріалів і систем. Готовність держави і бізнесу підтримати нанотехнологічні розробки пов'язана з очікуванням від наноіндустрії високих результатів.

Нанотехнології та наука наноматеріалів мають потенціал достатній, щоб забезпечити переваги в різних сферах, таких як синтез нових матеріалів із поліпшеними властивостями, технології виробництва, інформаційні технології та електроніка, екологія та енергозбереження, нанобіологія, медична техніка, транспорт, економіка і т. д.² Малоімовірно, що є якийсь сегмент людського життя і діяльності, в якому нанотехнології не можуть бути застосованими³. Нанотехнології також будуть впливати на психологію людей, їх розуміння світу, в якому вони живуть (сприйняття соціальних явищ, філософських поглядів і етичні міркування)⁴. За даними американського Національного інституту здоров'я, наномедицина включає застосування нанотехнологій в «дуже конкретних медичних втручаннях на

¹ RNN Rusnanonet [Електронний ресурс] // Список термінів. – Режим доступу: <http://www.rusnanonet.ru/tesaurus/ru/17908/>.

² Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010–2014 роки [Електронний ресурс] : постанова Кабінету Міністрів від 28 жовт. 2009 р. № 1231. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1231-2009-%D0%BF/print1419944810205377>.

³ Стан та перспективи розвитку досліджень у галузі наносистем і наноматеріалів в Україні [Електронний ресурс] // Національна академія наук України. Новини / Прес-служба НАН України. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/UA/news/Pages/contents.aspx?ffn1=ID&fft1=Eq&ffv1=2128>.

⁴ Біла, І. С. Проблеми та перспективи нанотехнологій в Україні [Текст] / І. С. Біла, Т. В. Швед // Наук. пр. НУХТ. – 2010. – № 36. – С. 136–139.

молекулярному рівні, тобто для лікування захворювання і відновлення пошкоджених тканин, таких як кістки, м'язи і нерви. Джонсон і Макгі вказують, що наномедицина може бути визначена як «медичні втручання, які використовують матеріали, машини та механізми, створені або контрольовані нанонаукою і нанотехнологіями в цілях моніторингу, поліпшення або підтримки здоров'я»¹. Більшість нанотехнологій, застосовуваних в медицині, може стати у нагоді у стоматології².

Фізичні і хімічні властивості матеріалів стають зовсім іншими, коли кількість атомів певних агломерацій значно знижується³. Невелика кількість атомів дозволяє за рахунок різного позиціонування і відстані між ними робити домінуючими фізичні і хімічні властивості об'єкта⁴.

На щорічній зустрічі Американського фізичного товариства, ще в 1959 році, фізик, лауреат Нобелівської премії Річард Фейнман звернув увагу наукового співтовариства на майбутню можливість створення матеріалів і пристроїв на атомному або молекулярному рівнях, у своїй промові він закликав досягнути цей інноваційний шлях. Науковець припустив, що наномашини, нанороботи і нанопристрої можуть бути в кінцевому рахунку використаними для розробки широкого спектра атомного (мікроскопічного) розміру приладів і технологічного оснащення. У його історичній лекції зроблено висновок: «Цей шлях розвитку, що не може бути обійденим»⁵.

Нанотехнології дають змогу дискретного управління необхідними властивостями матеріалів: механічними, тепловими, електричними, оптичними. З їх допомогою можливе створення нового покоління

¹ Gupta J. Nanotechnology applications in medicine and dentistry [Текст] / J. Gupta // J Investig Clin Dent, 2011. – № 2. – P. 81–88.

² Johnson, S. Nanotechnologies in health care: a needs assesment regarding ethics and policy in nanomedicine [Електронний ресурс] / S. Johnson, G. McGee. – Режим доступу: <http://www.hcs.harvard.edu/~hhpr/currentissue/07spring/156-164.pdf>. – 2007.

³ Kahan, D. M. Nanotechnology and society – the evolution of risk perceptions [Текст] / D. M. Kahan. – Nature Nanotech, 2009. – № 4. – P. 705–706.

⁴ Trajković, V. Nanomedicina: stanje i perspektive [Текст] / V. Trajković, Z. Marković : Raković D, Uskoković D. Biomaterijali. – Beograd : Institut tehničkih nauka SANU, Društvo za istraživanje materijala, 2010. – P. 762–777.

⁵ Freitas, R. A. Jr. Nanotechnology, nanomedicine and nanosurgery [Текст] / R. A. Jr. Freitas. – Int J Surg, 2005. – № 3. – P. 243–246.

надлегких матеріалів, матеріалів із надзвичайно високою електричною ємністю (графені), структурних армованих вуглецевим волокном композитів, вуглецевих наноструктур (нанотрубок) надвисокої міцності, що в цілому дозволить створювати механізми і машини на 30% легшими за існуючі, будувати екологічно чисті транспортні засоби, проектувати будь-які вироби з особливими характеристиками.

Сучасна тенденція до мініатюризації показала, що речовина може мати зовсім нові властивості, якщо взяти дуже маленьку частинку цієї речовини¹. Так, наприклад, виявилось, що наночастинки деяких матеріалів мають дуже хороші каталітичні та адсорбційні властивості. Інші матеріали показують дивовижні оптичні властивості, наприклад, надтонкі плівки органічних матеріалів застосовують для виробництва сонячних батарей. Такі батареї значно дешевші і можуть бути механічно гнучкими. Вдається домогтися взаємодії штучних наночасток з природними об'єктами нанорозмірів – білками, нуклеїновими кислотами та ін. Ретельно очищені наночастинки можуть самовбудовуватися в певні структури. Така структура містить строго впорядковані наночастинки і також часто проявляє незвичайні властивості. Нанооб'єкти поділяють на 3 основні класи: тривимірні частинки, двовимірні об'єкти та одновимірні об'єкти – вискери.

Одним з найважливіших питань, що стоять перед нанотехнологією – як змусити молекули групуватися певним способом, самоорганізовуватися, щоб у результаті отримати нові матеріали або пристрої². Цією проблемою займається розділ хімії – супрамолекулярна хімія. Вона вивчає не окремі молекули, а взаємодії між молекулами, які, організовуючи певним способом, можуть дати нові речовини. Обнадіює те, що в природі дійсно існують подібні системи і здійснюються подібні процеси. Так, відомі біополімери, здатні організовуватися в особливі структури. Один із прикладів – білки, які не тільки можуть згортатися в глобулярну форму, а й утворювати комплекси –

¹ Нанотехнології [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Нанотехнології>.

² Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010–2014 роки [Електронний ресурс] // Постанова від 28 жовт. 2009 р. № 1231. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1231-2009-%D0%BF/print1419944810205377>.

структури, що включають кілька молекул протеїнів (білків). Вже зараз існує метод синтезу, який використовує специфічні властивості молекули ДНК.

Частинки розмірами порядку нанометрів або наночастинки, як їх називають в наукових колах, мають одну властивість, яка дуже заважає їх використанню. Вони можуть утворювати агломерати, тобто злипатися одна з однією. Так як наночастинки є перспективними в галузях виробництва кераміки, металургії, цю проблему необхідно вирішувати. Одне з можливих рішень – використання речовин – дисперсантів, нерозчинних у воді. Їх можна додавати в середовище, що містить наночастки.

Фізики з університету штату Джорджія розробили нанодвигун, який працює на хімічному пальному. Хіміки з універу Единбурга створили ротаксан – молекулярну машину, яка дозволяє «обійти» другий закон термодинаміки. Спеціалісти з американський лабораторій Белла та з німецького інституту колоїдів Макса Планка розробили своєрідний «молекулярний м'яз». Новітні технології обіцяють подолати нові й поки що невиліковні хвороби. Передбачається, що наночастинки використовуватимуться для доставки до потрібних органів корисних речовин та ліків¹.

Нестримно розвиваються наукові ідеї «наноїжі». Нанотехнології надають харчовикам унікальні можливості з тотального моніторингу у реальному часі якості та безпеки продуктів.

Відвертого удару нанотехнології можуть завдати індустрії мийних засобів. Поява нових, стійких до забруднень та ушкоджень, матеріалів, зменшить потребу в них.

Нанотехнології дозволять наділити інтелектом найзвичніші предмети побуту.

Люди носитимуть одяг, який змінює колір, обмінюватимуться візитівками з нанесеною на них відеорекламою, передаватимуть свої емоції за допомогою імплантатів, що відображають настрій.

Жінки милуватимуться собою у комп'ютеризованих дзеркалах, котрі коригуватимуть зображення до ідеального, а на своїх нігтях матимуть манікюр із запрограмованим кольором та візерунками.

¹ Біла, І. С. Проблеми та перспективи нанотехнологій в Україні [Текст] / І. С. Біла, Т. В. Швед // Наук. пр. НУХТ. – 2010. – № 36. – С. 136–139.

Світ майбутнього буде різнобарвним, насиченим життям.

Він перейде на наступний рівень, де багато сучасних проблем будуть розв'язані за допомогою нанотехнологій.

В Україні у 2009 р було затверджено Концепцію Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010–2014 роки, яка має на меті створення сучасної наноіндустрії як необхідної умови становлення інноваційного суспільства. Дана програма передбачає підтримку держави у формуванні інфраструктури для проведення ефективних фундаментальних досліджень у нанотехнологіях, координацію робіт із створення і застосування нанотехнологій та наноматеріалів, а також розроблення нових підходів до підготовки кваліфікованих спеціалістів з питань розв'язання наукових, технологічних і виробничих проблем нанотехнологій. Метою Програми є створення наноіндустрії шляхом забезпечення розвитку її промислово-технологічної інфраструктури, використання результатів фундаментальних та прикладних досліджень, а також підготовки висококваліфікованих наукових та інженерних кадрів.

Для розв'язання проблеми необхідно: провести фундаментальні та прикладні дослідження з пріоритетних напрямів, зокрема наноелектроніки, наноінженерії, функціональних і конструкційних наноматеріалів, колоїдних нанотехнологій, нанотехнологій для каталізу та хімічної промисловості, наноматеріалів та нанотехнологій для захисту навколишнього природного середовища, нанотехнологій для енергетики, нанотехнологій спеціального призначення, отримати нові знання щодо особливостей фізичних, хімічних, біологічних і більш складних процесів синтезу та атомного складу наносистем; розробити нанобіотехнології виготовлення наноматеріалів, пристроїв та приладів медичного призначення, а також для наномедицини, нанофізики, нанохімії, наноматеріалознавства; забезпечити дослідників сучасним обладнанням, необхідним для виготовлення наноматеріалів і дослідження їх властивостей; створити цілісну систему підготовки дослідників, матеріалознавців і технологів, які володіють міждисциплінарними фундаментальними знаннями та вміють працювати на сучасному спеціальному обладнанні; забезпечити проведення стандартизації та сертифікації наноматеріалів, оскільки на даний час в Україні відсутня система метрологічних вимірювань у діапазоні

менш як 1 мікрон, що не дає можливості вимірювати геометричні параметри нанооб'єктів та перевіряти вимірювальне обладнання; вивчити питання щодо потенційних ризиків шкідливого впливу нанотехнологій та наноматеріалів на людину і навколишнє природне середовище; розробити план заходів щодо залучення інвестицій для створення наноіндустрії, в якому передбачити можливість звільнення від сплати податків, зборів та інших обов'язкових платежів під час ввезення на митну територію України обладнання, необхідного для виготовлення наноматеріалів і дослідження їх властивостей, а також утворення підприємств, установ та організацій, діяльність яких пов'язана з впровадженням нанотехнологій.

Основними завданнями Програми є: проведення фундаментальних досліджень з метою розроблення та удосконалення нанотехнологій, створення наносистем, наноструктур, новітньої елементної бази наноелектроніки і нанофотоніки та виготовлення наноматеріалів; створення: – технологічної системи виготовлення наноматеріалів, наноструктур та приладів; – промислово-технологічної інфраструктури наноіндустрії; – новітньої елементної бази для виготовлення приладів терагерцового діапазону, обладнання шляхом впровадження наноструктур на основі традиційних напівпровідників; розроблення: – нанотехнологій для каталізу; – дослідно-промислових технологій виготовлення нанопорошків, наноматеріалів, зокрема наночастинок, нанотрубок, нанострижнів, нановолокон, нанодротів, а також функціональних консолідованих наноматеріалів і наноматеріалів з аморфно-нанокристалічною структурою, конструкційних наноструктурованих матеріалів з градієнтним та об'ємним зміцненням, нанодисперсних і наноструктурованих люмінесцентних та сцинтиляційних матеріалів; – нанотехнологій виготовлення легких, міцних і корозійностійких конструкційних матеріалів для машинобудування та аерокосмічної техніки, захисних покриттів різноманітних конструкцій, нанофотокаталізаторів і вивчення фізичних та хімічних процесів з їх використанням, наносорбентів і нанопористих матеріалів, енергозберігаючих пристроїв з урахуванням досягнень оптоелектроніки та фотовольтаїки; – колоїдних нанотехнологій виготовлення наноматеріалів різного функціонального призначення; – оптичних джерел випромінювання (лазери і світлодіоди) на основі наноелектронних

структур; – методів виготовлення апаратури для діагностики і сертифікації наноматеріалів та приладів; – наноконструкцій, що використовуються для підвищення ефективності біологічно активних речовин; – порядку проведення оцінки впливу нанотехнологій та наноматеріалів на людину і навколишнє природне середовище; вивчення питання щодо впливу наноматеріалів на біологічні об'єкти; утворення: – центру сертифікації наноматеріалів, наноструктур та приладів; – у вищих навчальних закладах науково-навчальних центрів підготовки та підвищення кваліфікації фахівців галузі нанотехнологій та виготовлення наноматеріалів.

Виконання Програми дасть змогу: розробити нанотехнології для хімічної промисловості, енергетики, лікування найпоширеніших і найнебезпечніших хвороб, а також виготовлення біологічно активних речовин та багатофункціональних пристроїв наноелектроніки; підготувати: – нормативно-правові акти, стандарти та сертифікати, що регламентують розроблення і впровадження нанотехнологій та виготовлення наноматеріалів; – підручники та навчальні посібники для вищих навчальних закладів з питань щодо розроблення нанотехнологій та виготовлення наноматеріалів; утворити у вищих навчальних закладах науково-навчальні центри.

У 2014 р. був прийнятий Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», в якому у статті 4 «Стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності на 2011–2021 р.» у пункті 3 зазначено необхідність освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій¹.

14 січня 2015 р. відбулося засідання Президії НАН України, під час якого було розглянуто питання щодо стану та перспектив розвитку досліджень у галузі наносистем і наноматеріалів в Україні. Головна увага на засіданні була приділена результатам виконання Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» та цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем,

¹ Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні [Електронний ресурс] : Закон України від 08.09.2011 р. № 3715-VI // Офіц. веб-сайт Верхов. Ради України. Законодавство України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/go/3715-17>.

наноматеріалів, нанотехнологій»¹. У своїй доповіді віце-президент НАН України академік НАН України А. Г. Наумовець зазначив, що завдяки виконанню програм отримано вагомні результати, які сприяли реалізації таких пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, як «Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави», «Енергетика та енергоефективність», «Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань», «Нові речовини і матеріали». Загалом протягом 2010–2014 рр. в рамках обох програм було виконано 240 проектів за такими напрямками як фізика наноструктур, технології напівпровідникових наноструктур, матеріалознавство, діагностика наноструктур, забезпечення розвитку наноіндустрії, біотехнології та біонаносистеми. Отримано важливі результати для застосування в різних сферах. Так, досягнуто підвищення характеристик металів та різних видів покриття для застосування в аерокосмічній, машинобудівній, оборонній та інших галузях.

Важливими є нанорозробки для енергетики – одержано вагомні результати для застосування у виробництві літєвих акумуляторів нового покоління, в пристроях для зберігання енергії, охорони довкілля та систем перетворення сонячної енергії. Розроблено ефективну технологію одержання графену з різним ступенем окиснення за відсутності агресивних середовищ. Нові нанобіотехнологічні розробки закладають основи для лікування серцево-судинних, інфекційних захворювань, злоякісних пухлин, діабету та автоімунних захворювань, порушень мінерального обміну, хвороб опорно-рухового апарату та створення ефективних і дешевих профілактичних препаратів, діагностикумів і ліків. Так, розроблено новий препарат нанодисперсного кремнезему для лікування різних захворювань «Силікс», технологія одержання композиту нанозаліза з аскорбіновою кислотою, що забезпечує протианемічний ефект сильніший, порівняно з нанозалізом, впроваджено в медичну практику нано-препарат «Ліпін» В. Вперше в Україні розроблена технологія отримання

¹ DailyTechInfo. Нанотехнологии. Электроника и полупроводники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dailytechinfo.org/nanotech/>.

мання високобілкового харчового продукту спеціального дієтичного призначення для застосування при важких формах захворювань, пов'язаних з білково-енергетичною нестачею. Його ефективність підтвердили клінічні дослідження у Київському дитячому гастроентерологічному центрі та у військовому госпіталі в/ч А2923. В інститутах НАН України синтезовано та досліджено наноматеріали для використання у сільському господарстві і екології. Наприклад, використання ліпосомальної форми препаратів для захисту і регуляторів росту рослин скорочує їх витрати на 25–70%, знижує вартість обробки та підвищує врожайність на 10%. В галузі діагностики наноматеріалів розроблено та розвинуто методи діагностики структурно-морфологічних, фрактальних, динамічних та фізико-хімічних властивостей наносистем різного рівня топологічного упорядкування, створено технологічні та діагностичні бази даних, розвинуто прецизійні фізичні, хімічні та біологічні методи дослідження наносистем і наноматеріалів. Разом з тим було відзначено, що рівень впровадження одержаних результатів далеко не відповідає їх інноваційному потенціалу та потребам економіки України. Причинами цього є як відсутність сприятливого інноваційного клімату в країні, так і недостатньо активна робота Президії та установ НАН України у сфері комерціалізації виконаних розробок, налагодження співпраці з виробничими структурами. Це вимагає подальших зусиль, спрямованих на ширше інформування урядових структур, представників бізнесу, виробничої сфери та широкої громадськості про результати виконання Програми. Тому є необхідним прискорити реалізацію Концепції розвитку НАН України на 2014–2023 рр. в частині удосконалення інноваційної діяльності та комерціалізації розробок. Слід також активізувати участь НАН України в удосконаленні законодавства України у сфері науково-технічної діяльності, державно-приватного партнерства та міжнародного наукового співробітництва. За результатами засідання прийнято відповідні постанови Президії НАН України

В Україні є низка підприємств, які займаються розробкою нанотехнологій. Підприємство «SINTA» має виробництво наноматеріалів механічно-хімічним способом, унікальну технологію мікродетонаційного синтезу наноалмазів (ультрадисперсних алмазів) і ряд при-

кладних промислових технологій застосування наноалмазів: технології виготовлення захисно- і ремонтно-відновлювальних добавок в мастильні матеріали, технологій композиційного хромування і золочення, технологію отримання стабільних колоїдних систем в різних середовищах. Виробничі можливості підприємства дозволяють випуск кількох модифікацій наноалмазів різного призначення – від напівфабрикатів вибухового синтезу до наноалмазів тонкого очищення, від сухого нанопорошку до стійких колоїдних систем з наноалмазами в різних середовищах; випуск ряду наноматеріалів – нанопорошків металів і мінералів, наприклад нанопорошків міді, вольфраму, природного і штучного алмазу, кубоніта бору та ін.; випуск серії захисно- і ремонтно-відновлювальних добавок на основі наноалмазів в мастильні матеріали; послуги з зміцненню деталей тертя та інструменту¹.

СП «Персента України» – офіційне представництво «Percenta AG» (Глюксбург, Німеччина). Підприємство пропонує широкий спектр продуктів з метою облагородження поверхонь за допомогою новітніх нанотехнологій. Їх продукти призначені для тривалого захисту виробів за допомогою нанесення унікального і багатофункціонального покриття, створеного на базі хімічних нанотехнологій².

Компанія «NANO OIL UKRAINE» пропонує технології та обладнання для емульсіфікації палива. Метою є технічне забезпечення умов для розробки обладнання для емульсіфікації палива, так і самого емульсивного палива. Емульсійне паливо виробляється в нано-процесорі (автономний пристрій, розроблений для вироблення палива). Нано-процесори можуть бути налаштовані в поєднанні з двигуном для виробництва необхідної кількості емульсивного палива в міру затребуваності (ТЕЦ, ТЕС, самостійні котли, бункіровочні портові комплекси, нафтобази). Нано-процесор складається з трьох частин: приймального пристрою для палива, приймального пристрою для води і камери змішування, так званого Нано-генеруючого пристрою. Нано-процесор може використовувати такі типи палива: дизель, біодизель, мазут, гас, пічне паливо, забруднені відпрацьовані мастила.

¹ SINTA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nanodiamond.com.ua/>.

² СП «Персента Украина» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.percenta.com.ua/>.

Нано-процесор може використовувати будь-яку забруднену воду, яка не містить твердих частинок (вирішення проблеми утилізації забруднених вод)¹.

Основне завдання лабораторії прикладних нанотехнологій А. М. Білоусова – створення нових продуктів медико-біологічного значення, а також активне вивчення їх застосування в експериментальних дослідженнях та в клініці. Одне з головних наукових напрямів лабораторії – пошук оптимального методу і способу застосування продуктів нанотехнологій з метою універсальної корекції гомеостатичних систем живого організму на клітинному і субклітинному рівнях, вивчення біохімічних процесів старіння клітин і механізмів апоптозу².

У Донецькому фізико-технічному інституті ім. О. О. Галкіна створено пілотну лінію для отримання діоксиду цирконію та інших оксидних матеріалів «мокрим» хімічним синтезом. В Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського розроблено технологію виготовлення мікрохвильових діелектричних резонаторів та пристроїв радіозв'язку на їх основі. Це унікальна і цілком конкурентоспроможна робота.

Українські науковці мають чимало напрацювань і в медико-біологічному напрямку. Наноструктуровані біосумісні покриття гідроксиапатиту кальцію на титанових і сапфірових медичних імплантатах (Донецький фізико-технічний інститут та Інститут монокристалів), пориста нанокераміка з гідроксиапатиту кальцію для кісткової хірургії (ІПМ), магнітокеровані нанокомпозити медико-біологічного призначення (Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. С. Кавецького та Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка) – далеко не повний їх перелік.

Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна має вагомі досягнення в отриманні наноструктурних багаточарових керамічних покриттів (ліцензія в США продана за 50 млн. дол.). Ця технологія покриття дає твердість понад 40 ГПа та змогу у 2–5 разів

¹ Компанія «NANO OIL UKRAINE» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nano-oil.eu/>.

² Лабораторія прикладних нанотехнологій А. Н. Белоусова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nanolab.com.ua/>.

збільшити термін експлуатації різального інструменту і штампової оснастки. Сегмент ринку навіть в Україні прогнозується на рівні понад 200 млн. дол. за умови успішної комерціалізації.

Розробка Інституту сцинтиляційних матеріалів – біомаркери, які допомагають медикам розпізнавати пошкодження тканин і органів. Ринок біомаркерів для ліків та діагностики зростає зі швидкістю 16,9% і склав 6 млрд. дол. у 2012 році. Другий сегмент біомаркерів адресовано молекулярній діагностиці. Швидкість його зростання – 17,5% і 5,2 млрд.дол. у 2012-му. А глобальний ринок біомаркерів більш ніж подвоїться за наступні 5 років і сягне майже 13 млрд. дол.

За оцінкою експертів, лише у 2015 році світовий наноринок в цілому складе 1–2,5 трлн. дол.¹

В цілому по Україні було з'ясовано, що переважна кількість підприємств, які використовують та/або створюють нанотехнології, за видом економічної діяльності належать до закладів вищої освіти та установ, що здійснюють дослідження і розробки в галузі природничих наук. Виявлені тенденції дозволяють зробити висновок про ембріональний стан вітчизняної наноіндустрії, оскільки зазначені організації більшою мірою орієнтовані на проведення у цій сфері досліджень та несерійне виробництво наноматеріалів. Діяльність цих організацій забезпечує створення ядра нанотехнологічної сфери – продукції, що використовується тільки промисловістю для проміжного споживання (промислове виробництво) та не спрямована на створення нанотехнологічної продукції для кінцевого споживання та впровадження нанотехнологій у масове виробництво.

Питома вага підприємств переробної промисловості, що використовують та/або створюють нанотехнології, абсолютно несуттєва і коливається в межах 10–20% від загальної кількості нанотехнологічних підприємств. До того ж варто зазначити, що для цих компаній нанотехнологічна діяльність не є основним видом діяльності.

Таким чином, можна стверджувати, що спеціалізованих на нанотехнологіях підприємств в Україні на сьогодні не існує. Проте не

¹ Волинська, М. Нанотехнології в Україні: відшукаємо свої ніші? [Електронний ресурс] / Марія Волинська // Світ. – 2014. – №45–46 (648–649). – Режим доступу: http://www1.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/10_4546_03.aspx.

слід заперечувати існування певної частини підприємств, задіяних у нанотехнологічній діяльності – тобто у процесі виробництва такими підприємствами продукції та/або надання послуг відбувається використання нанотехнологій або залучення наноматеріалів до складу продукції без акцентування уваги на приналежності таких технологій або матеріалів до нанотехнологічної індустрії.

Також аналіз показав досить неоднорідний територіальний розподіл нанокомпаній за областями. У господарському просторі України сформувався центр гіперактивності та концентрації – Київська область, в якій зареєстровано 30 компаній, що працюють у сфері нанотехнологій. Можна також виділити полюси високої активності процесу наноіндустріалізації. До них слід віднести Дніпропетровську та Харківську області, в яких функціонує відповідно 4 і 6 компаній, що здійснюють нанотехнологічну діяльність. Проте існують і області повної пасивності, де не зареєстровано жодного суб'єкта наноіндустрії.

Загалом рівень залучення вітчизняних підприємств у нанотехнологічну діяльність є досить низьким.

З огляду на досвід розробки і впровадження нанотехнологічних виробів в Україні можна зробити висновок, що на цьому шляху є суттєві перешкоди¹:

- відсутність стратегії розвитку науково-технічного потенціалу України та конкретних механізмів його реалізації;
- істотне перевищення потреби вітчизняного ринку в нанотехнологічній продукції у багатьох соціально значущих сферах (медицина, енергетика, екологія) порівняно з обсягами її реального виробництва, що пов'язано з неготовністю промисловості до впровадження нанорозробок;
- недостатність кваліфікованих, професійних кадрів в сфері нанотехнологій;
- мізерні державні інвестиції, що не дозволяють повністю розкрити вітчизняний потенціал в сфері нанотехнологій;

¹ Біла, І. С. Проблеми та перспективи нанотехнологій в Україні [Текст] / І. С. Біла, Т. В. Швед // Наук. пр. НУХТ. – 2010. – № 36. – С. 136–139.

– відсутність технологічної бази для розвитку нанотехнологій, тобто відповідного сучасного обладнання, що в Україні не виробляється;

– значний державний борг і незначні обсяги як внутрішніх, так і зовнішніх інвестицій в економіку тощо.

Не дивлячись на означені проблеми, наша країна має певні передумови для того, щоб стати активним учасником світового процесу розвитку нанодосліджень і нанотехнологій, і гідним учасником нової науково-технічної революції. Без такої участі вона буде приречена на відставання в одному з найважливіших напрямів сучасного науково-технічного прогресу, не зможе впроваджувати в свою економіку цілий ряд високотехнологічних інновацій і буде приречена на роль постачальника сировини для світової економіки.

Для подальшого руху вперед у галузі розвитку нанотехнологій необхідно здійснювати фінансування програми з нанотехнологій та наноматеріалів в обсязі 750–770 млн. грн. на рік; створити наукові лабораторії, оснащені сучасним науковим технологічним обладнанням; організувати 4 науково-навчальних центри з нанотехнологій для підготовки магістрів та аспірантів в НАНУ та ВНЗ у Києві, Львові, Харкові з фінансуванням 20 млн. грн. на рік., про це заявив заступник директора Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича (ІПМ) НАН України, член-кореспондент НАН України Андрій Рагуля¹.

Нанотехнології, навіть будучи частково реалізованими впродовж наступних десятиліть, мають потенціал для інноваційного розвитку суспільства та можуть вплинути на економіку країни на структурному рівні. Нанотехнології цілком можуть сприяти процвітанню або, по крайній мірі, бути стимулюючим фактором у формуванні високої продуктивності і глобальної конкурентоспроможності економіки країни. Слід враховувати, що проривні технології будуть мати широкі і далекоглядні наслідки – як позитивні, так і негативні. Безумовно, що нано – не панацея, це всього лише один із напрямків науки, абсолютно співставимий з усіма іншими. Значна кількість питань націо-

¹ Волинська, М. Нанотехнології в Україні: відшукаємо свої ніші? [Електронний ресурс] / Марія Волинська // Світ. – 2014. – №45–46 (648–649). – Режим доступу: http://www1.nas.gov.ua/svit/Article/Pages/10_4546_03.aspx.

нальної безпеки і економіки є недослідженою. Великі економічні, наукові та технологічні перспективи розвитку нанотехнологій як цивільного, так і військового застосування визначають необхідність формування єдиної державної науково-технічної політики в даній області. У той же час значна кількість питань національної безпеки і економіки є недослідженими.

В цілому рівень інформованості і готовності суспільства до сприйняття нанотехнологій є низьким. Хоча існує розуміння численних переваг від застосування нанотехнологій, їх стратегічного економічного значення для різних країн.

Багато країн, у тому числі тих, які розвиваються – Коста-Ріка, Чілі, Бангладеш, Таїланд, Малайзія та Південна Африка вкладають мільйони доларів щорічно на дослідження з нанотехнологій, і швидко нарощуються результати їх наукової діяльності, про що свідчить збільшення кількості публікацій у рецензуємих наукових виданнях.

Суто нанотехнології все ще знаходяться у зародковому стані, в значній мірі теоретичному. Але прогнози розвитку і використання нанотехнологій є дуже позитивними. У найближчому майбутньому ці технології будуть переважати у ключових галузях, які ведуть до збільшення інвестицій і інновацій.

В наукових дослідженнях і промисловості є розуміння тих задач і проблем, які необхідно вирішити для розвитку нанотехнологій.

З іншого боку, в Україні немає загальної координації наукових досліджень і конструкторських робіт у цій сфері. Виконані розробки носять проривний характер, але їх кількість вимірюється одиницями і відсутній зв'язок між окремими науковими дослідженнями у цьому напрямку.

Також постають невирішені питання про вплив нанотехнологій на наше суспільне життя, на формування кар'єри людей, якості життя тощо і зараз ще є час для вивчення тих наслідків, які можуть вплинути на суспільство у майбутньому. Це особливо важливо, бо нанотехнології можуть «обвалити» економіки слабких держав, що не підготовані до швидкої інноваційної трансформації.

Готовність України до масштабних інноваційних змін є складною задачею. Повинні бути зроблені стратегічно важливі рішення вже зараз.