

**Фесенко Олена Мар'янівна**,  
канд. фіз.-мат. наук, завідувач відділу з питань Міжнародної наукової та  
інноваційної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності,  
Інститут фізики Національної академії наук України (м. Київ, Україна);

**Ковальчук Сергій Васильович**,  
провідний інженер, відділ з питань Міжнародної наукової та  
інноваційної діяльності, трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності,  
Інститут фізики Національної академії наук України (м. Київ, Україна);

**Нищик Роман Анатолійович**,  
молодший науковий співробітник,  
відділ з питань Міжнародної наукової та інноваційної діяльності,  
трансферу технологій та захисту інтелектуальної власності,  
Інститут фізики Національної академії наук України (м. Київ, Україна);

### ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

У статті аналізується мультидисциплінарність нанотехнологій та особливості розвитку і трансферу нанотехнологій в Україні та світі. Розглянуто розподіл основних галузей, в яких випускається нанотехнологічна продукція у світі, та зображено попит нанотехнологічної продукції на ринку у 2016 році. Наведено державні програми України, спрямовані на підтримку розвитку нанотехнологій в країні, та виділено низку технологій, що вже набули практичного застосування, а також окреслено перспективність нанотехнологій та основні проблеми напрямку, які потрібно вирішити у найближчому майбутньому.

Ключові слова: нанотехнології, трансфер нанотехнологій, нанотрубки, промисловість, наукові програми, малі та середні підприємства, науково-дослідні інститути.

DOI: 10.21272/mmi.2017.1-15

**Постановка проблеми.** Галузь нанотехнологій має загалом багато різних визначень, але всіх їх об'єднує той факт, що в нанотехнологіях досліджуються явища, які виникають у масштабі однієї мільйонної частки міліметра, і навіть не важливо: йде мова про явища, зумовлені фізичними законами, хімічними властивостями чи біологічними принципами [1; 2].

Тому, по суті, нанотехнології мають міждисциплінарний характер, де поєднуються особливості різних наукових галузей. У нанотехнологіях основний акцент робиться на матеріали та системи, чії структури та компоненти показують нові і значно удосконалені фізичні, хімічні та біологічні властивості – і які дають можливість використовувати нові феномени та процеси згідно з їх наномасштабним розміром [3]. Справді цікавим аспектом є те, що галузь нанотехнологій не обмежується лише сферою матеріалів та пристроїв, а й поширюється на біологічні науки та навіть медицину. Крім того, ряд технологічних кроків робиться у сфері інформаційних технологій, біотехнологій, напівпровідників та інших технологій; усі вони як чинять помітний вплив на нанотехнології, так, і в свою чергу, самі зумовлені впливом розробок у цій галузі.

Галузь нанотехнологій вже дуже активно розвивається у світі, хоча в Україні темпи її розвитку залишаються ще досить повільними. Постають актуальні питання: як підвищити інтерес до цієї галузі в нашій державі, які можливості для застосування в індустрії дають продукти нанотехнологій? Важливим також є розуміння правильних принципів, за якими відбувається трансфер нанотехнологій від академічної до комерційної сфери, що є основним критерієм ефективності та продуктивності досягнень галузі нанотехнологій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні галузь нанотехнологій досить

широко висвітлена в літературі. Мультидисциплінарність галузі нанотехнологій як науки обговорена в працях М. Салерно [1], Д. Лінтона та Т. Волша [2]. Опис стану галузі нанотехнологій у світі наведені в працях Р.Т. Костофа [6], А.Д. Роміга та ін. [7], А. Хулмана [10], а в джерелах [8; 9] зроблені прогнози щодо перспектив розвитку цієї галузі в майбутньому. Детальний огляд галузі нанотехнологій в Україні та її основних проблем здійснений у праці І.Ю. Матюшенка [12].

**Мета дослідження** – надати комплексну характеристику галузі нанотехнологій, здійснити ґрунтовний аналіз особливостей розвитку нанотехнологій в Україні та світі, перспективних галузей застосування продуктів нанотехнологій та оцінити ринок нанотехнологій. Також важливим завданням є висвітлення особливостей трансферу нанотехнологій, його основних проблем та можливих шляхів їх ефективного подолання.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Нанотехнології дають можливість керування фізичними, хімічними і біологічними процесами на атомарному і молекулярному рівнях, що дозволяє створювати нові матеріали, прилади, медичні препарати, розробляти нові технологічні процеси з принципово новими можливостями. Сьогодні на основі нанотехнологій уже з'явилися нові лазери, зносостійкі наноструктуровані покриття лопаток газових турбін і систем захисту від радіолокаційного виявлення, високоселективні наноструктурні каталізатори, нові ліки та косметичні товари тощо. Завдяки застосуванню нанотехнологій електроніка швидко наближається до такого рівня мініатюризації, коли робочими елементами інтегральних схем є невеликі ансамблі атомів та молекул. Нанотехнології також вже набули, а в недалекому майбутньому набудуть ще ширшого застосування в енергетиці, технологіях створення нових поколінь авіаційно-космічних апаратів, засобів наземного і супутникового зв'язку та інформації, систем безпеки й оборони. Розвиток нанотехнологій пов'язаний з активним дослідженням таких наноматеріалів, як, наприклад, вуглецевих нанотрубок та графену. Вуглецеві нанотрубки – графітові циліндри зі своєрідними електричними властивостями, які вже стали основою для великої кількості наноматеріалів: нановолокна, нанодроти, наномотори, нанопружини, нанокристали, нанопористі матеріали, молекулярні електронні матеріали, молекулярні фотонні матеріали, органічні наноструктури, квантові точки, органічні і неорганічні гібридні наноструктури та ін. Відкриття та подальше дослідження графену також вплинуло на стрімкий розвиток нанотехнологій, оскільки сфери застосування цього матеріалу є надзвичайно широкими – це і наноелектроніка, і оптоелектроніка, дослідження космосу, очищення води, автомобілебудування, медицина, промисловість, військово-промисловий комплекс та інші. Наприклад, компанія Graphene 3D Lab опублікувала діаграму (рис. 1) перспектив розвитку нанотехнології та їх інтеграції в життєдіяльність суспільства.

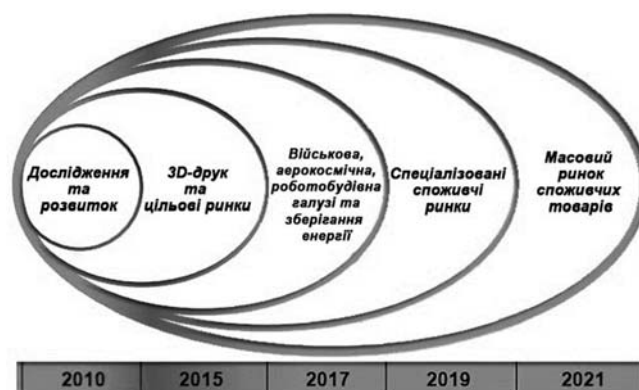


Рисунок 1 – Діаграма перспектив розвитку нанотехнології та їхньої інтеграції в життєдіяльність суспільства згідно з Graphene 3D Lab

Згідно із корпоративними прогнозами компанії світовий ринок нанотехнологій у сфері графену та його технологічного використання буде мати стрімкий розвиток, зокрема, досягне \$122,9 млн/рік у 2017 році та \$986,7 млн/рік у 2022 році [4].

Нинішні продукти нанотехнологій вже активно розробляють у сфері біологічних наук: біоінженерія для захисту рослин від комах та покращання процесу їх росту; в електроніці: мікроелектромеханічні системи, біосенсори, так звані «лабораторії на чіпі»; комп'ютерних технологіях: процесори та елементи пам'яті з використанням різних органічних напівпровідників, порфіринів; аерокосмічній сфері та енергетиці: наномотори, нові батареї та електродвигуни на основі наноматеріалів та ін. [5].

Незважаючи на те що розвиток нанотехнологій розпочався лише близько 2 десятиліття тому, нанотехнологічна продукція зайняла свою нішу на світовому ринку та стрімко проникає в різні сфери життя людини. На рисунку 2 розглянуто розподіл основних галузей, в яких випускається нанотехнологічна продукція у світі у 2016 р.

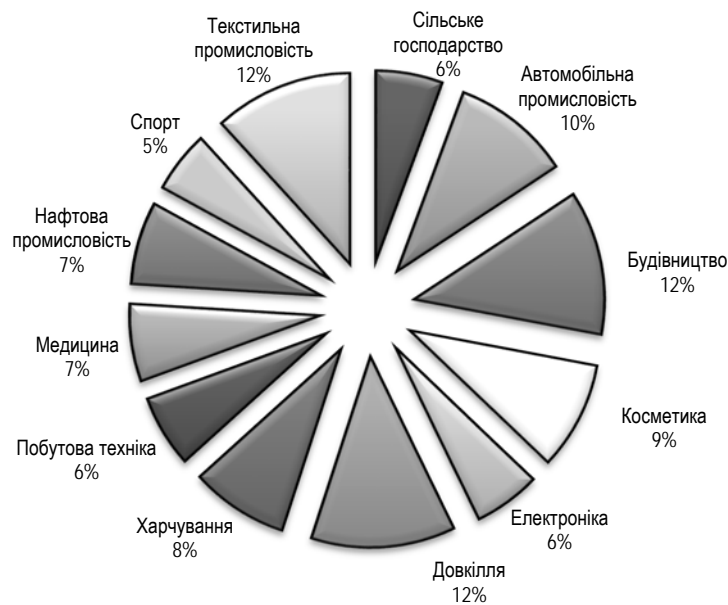


Рисунок 2 – Галузі виготовлення країнами світу нанотехнологічної продукції

- Основними перспективними напрямками для розвитку нанотехнологій на цей час є:
- використання наноматеріалів для освоєння космічного простору;
  - створення нанороботів на світлових індикаторах;
  - створення рідкорепелентних матеріалів;
  - створення алмазних нановолокон для квантових мультипроцесорів;
  - використання нанотехнологій для терапії ВІЛ;
  - виготовлення самовідновних акумуляторів із високою інтерколяційною здатністю;
  - створення електронних пристроїв на ефекті дискретного одноелектронного тунелювання та самозбирання ДНК;
  - створення «розумного» текстилю;

- створення девайсів на основі штучного інтелекту;
- створення квантово-фотонних схем та методів їх використання;
- виготовлення мультифункціональних чіпів;
- термоелектричний трафаретний друк: технологія та апаратна частина;
- виготовлення самовідновних матеріалів;
- створення приладів та технологій на основі пам'яті зі зміною фазового стану.

*Нанотехнології в Україні та світі.* За останні десятиліття уряди та компанії різних країн почали все більше уваги приділяти індустрії нанотехнологій. Досить швидкими темпами створюються нові призначені специфічним потребам різних напрямків індустрії наноматеріали, що зможуть забезпечити ринок у ряді ключових галузей промисловості новими продуктами з чудовими експлуатаційними характеристиками. Необхідно зазначити, що ці продукти більше не є лише сферою науки, а вже й активно впроваджуються на ринку. Проте, хоча наноматеріали можуть створити безліч нових можливостей для бізнесу та позитивно вплинути на їх позиції на ринку, вони також можуть представляти величезні бізнес-ризики.

Попри те що лідерами в галузі нанотехнологій залишаються США, Японія та європейські держави [6], інші країни також намагаються ініціювати значні зусилля у цій сфері. Так, в Індії в 2001 році Департаментом науки і техніки створено ініціативу «Нанонаука і технології». На базі кількох лабораторій створені об'єкти для проведення досліджень у цій сфері. Але однією з основних проблем є нестача необхідної робочої сили та кваліфікованих кадрів. А оскільки кількість наявних навчальних центрів в Індії є явно недостатньою, то допомога з боку уряду є дуже нагальною. Актуальною тут залишається і потреба у збільшенні обсягу інвестицій у галузь нанотехнологій.

Яскравим прикладом стрімкого розвитку галузі нанотехнологій є Китай, де інвестиції в людей та інфраструктуру вищі, ніж навіть у багатьох розвинених країнах. У Китаї також було встановлено низку двосторонніх програм у галузі нанотехнологій, головним чином, із США та Росією. Як і Індія та Китай, багато країн, що розвиваються, також намагаються просуватися вперед у галузі нанотехнологій, але це стає все важче через конкуренцію і потребу у високому ступені технічної досконалості [7].

У цілому, крім загального галасу відносно нанотехнологій, який певною мірою пов'язаний з підвищенням інтересом до цієї галузі, у більшості літератури існує загальний консенсус, що галузь нанотехнологій буде і далі залишатися великою і домінуючою галуззю в недалекому майбутньому. На рисунку 3 зображено попит нанотехнологічної продукції на ринку. Як можна бачити, напрямком, який більш за все запроваджує нанотехнологічні рішення, є електроніка.

Відома маркетингова компанія *Research and Markets* провела дослідження ринків та спрогнозувала, що світова наоіндустрія має високі перспективи для зростання та розвитку, її прибутки виростуть у середньому в межах \$75,8 млрд до 2020 р. [8].

Крім того, BCC Research [9] зазначає, що зважаючи на те, що світовий ринок нанотехнології був оцінений розміром \$22,9 млрд у 2013 році і \$26 млрд – у 2014 р., то можна припустити, що до 2019 р. вартість може становити \$64,2 млрд.

Згідно з даними порталу *nanowerk.com* від 2016 р. кількість закладів, що спеціалізуються на пов'язаних із нанотехнологіями роботах по всьому світу, становить близько 4 000, зокрема понад 2 000 дослідних лабораторій та наукових асоціацій та майже 2 000 комерційних установ. Загальна оцінка ринку нанотехнологій на 2013 р. становила більше трильйона доларів, основну частину з якого займав ринок наноматеріалів – 340 млрд дол., та ринок продуктів наноелектроніки – 300 млрд дол. [10]. Очікується також, що до 2018 р. загальна сума ринку нанотехнологій може зрости вже до 4 трильйонів доларів. Сумарна кількість робочих місць у галузі нанотехнологій становила близько 10 мільйонів на 2013 р. та продовжує активно зростати [10].

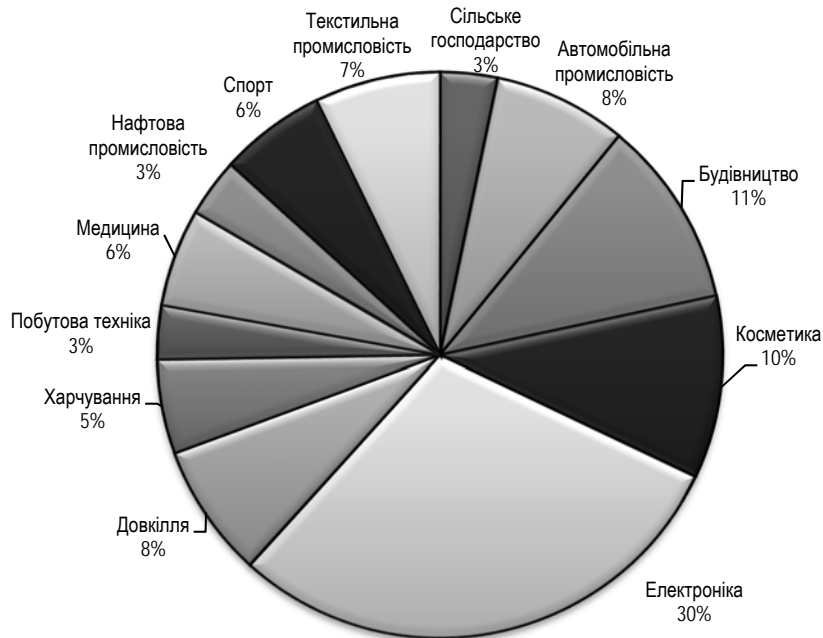


Рисунок 3 – Попит на нанотехнологічну продукцію на ринку

В Україні останніми роками університети та інститути НАН України виконують основні наукові програми з дослідження нанотехнологій. У 2009 році завдяки ініціативам Національної академії наук України була започаткована державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010-2014 роки згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 1231 від 28 жовтня 2009 р. Запланована сума фінансування становила близько 2 мільярдів гривень на 5 років, фактичне фінансування було значно знижене. Національна академія наук України активно залучалася до процесу впровадження цієї програми, і наукові інститути створили низку успішних розробок та унікальних нанотехнологій, особливо в галузі нанокомпозитів. Однак порівняно з високо розвиненими країнами обсяги фінансування дослідження нанотехнологій в Україні та їхнє подальше впровадження у промисловість знаходиться на дуже низькому рівні. Тому Національна академія наук України ініціювала виконання цільової комплексної програми фундаментальних дослідження НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових наноматеріалів та нанотехнологій» на 2015-2019 роки. Аналіз діяльності наукових інститутів НАН України, залучених до цієї програми, показав, що найвищий потенціал знаходиться у сферах нанофізики, нанобіотехнологій та нанохімії. Серед перспективних досліджень, які проводять українські науково-дослідні інститути за державної підтримки, можна виділити нанотехнології, що уже знайшли практичне застосування, а саме це: високонаповнені клейові нанокомпозиції типу «Мультиметал» для усунення кавітаційних пошкоджень гідроагрегатів методом «холодного молекулярного зварювання», магнітопроводи трансформаторів, телекомунікаційних систем, осердь вимірювальної апаратури, синтез кальцієвих гідроксоапатиту і фтороапатиту як біонаноматеріалів для медицини, установка для очищення висококонцентрованих стічних вод із використанням ультрадисперсних фаз гідроксидів заліза, технологія отримання нанодисперсного

діоксиду цирконію для зносостійких сопел гідрозбивачів окалини, плунжерів шахтних гідронасосів і маслостанцій, технологія виготовлення біоактивних нанокерамічних композитів «Синтекість» для відновлення кісткової тканини після оперативного втручання в хірургії, що одержала дозвіл Мінохорониздоров'я на застосування матеріалів у клінічній практиці.

Для подальшого розвитку нанотехнологій в Україні можна визначити низку проблем, серед яких насамперед низький рівень фінансування досліджень, старіння наукових шкіл, відплив молодих кадрів за кордон, застаріле обладнання та недостатнє матеріальне забезпечення. Існує необхідність визначення державою пріоритетних напрямів наукових досліджень у сфері нанотехнологій та концентрація невеликих обсягів бюджетних коштів на найважливіших напрямках досліджень, покликаних вирішувати нагальні проблеми людства і специфічні проблеми, які стоять перед Україною, що надасть можливість управління відповідними дослідженнями, дозволить раціонально витратити бюджетні кошти саме на вирішення реальних актуальних 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. Необхідне розроблення Стратегії розвитку нанотехнологій в Україні відповідно до глобальних проблем людства, створення Національної програми розвитку нанотехнологій в Україні, в якій будуть визначені 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 бюджетне фінансування) та підприємцями (за позабюджетні кошти). Необхідно створити консультативні робочі групи 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 [11].

*Особливості трансферу нанотехнологій.* Дуже важливо розуміти, що подальший розвиток нанотехнологій багато в чому залежить від того, наскільки існуючі компанії та представники індустрії зможуть ідентифікувати перспективні комерційні застосування продуктів нанотехнологій. А це, в свою чергу, залежить від того, наскільки успішно буде відбуватися трансфер наукових досягнень від академічної сфери до комерційної [12].

Процес трансферу технологій (як нанотехнологій, так і інших технологій) є спільним процесом між винахідником і його роботодавцем, упродовж якого відбувається ідентифікація, захист і комерціалізація інтелектуальної власності. Розкриття технології являє собою документ, що формально забезпечує дослідний інститут/університет докладною інформацією про новинку, що розроблена співробітником. На цьому етапі проводиться оцінювання комерційного потенціалу інновації та її патентоспроможність. У рамках оцінювання приймається рішення щодо конкретного винаходу або технології стосовно початку процесу комерціалізації чи відмови в комерціалізації. Відділ трансферу технологій (ТТ) та захисту інтелектуальної власності інституту/університету сприяє в процесі патентного захисту винаходу. За цей час відділу ТТ надаються технічні деталі, дані та обґрунтування для допомоги у визначенні ймовірності одержання патенту. За сприяння дослідника визначаються компанії, які мають ресурси і бізнес-мережу, необхідні для приведення технології на ринок. Активне залучення дослідника на цій стадії може різко посилити цей процес. Фаза переговорів починається, коли компанія проявляє інтерес до цього винаходу або технології. Переговори, як правило, повинен вести відділ ТТ дослідного інституту/університету, тримаючи винахідника в курсі подій та обговорюючи з ним стратегію комерціалізації. Цей відділ також робить винаходи дослідників доступними для громадськості та представників бізнесу через ліцензії. Певні права в технології надаються ліцензіату відповідно до конкретних умов, як визначено політикою інституту/університету. Відділи ТТ були створені у більшості науково-дослідних інститутах

Національної академії наук України з 2008 року згідно з розпорядженням Президії НАН України від 16 січня 2008 №15 «Про підрозділи з питань трансферу технологій, інноваційної діяльності та інтелектуальної власності».

Незважаючи на те що в Україні запроваджено низку програм підтримки розвитку нанотехнологій, одержання міжнародних патентів залишається досить складною процедурою для українських науковців, зокрема через високу вартість внеску за одержання патенту та недостатність досвіду в оформленні міжнародних патентів. Тому кількість патентів, виданих Європейською патентною організацією (ЄПО) українським науковцям, є критично низькою. Для прикладу на рис. 4 надана інфографіка кількості патентів, виданих ЄПО та патентним відомством США, отриманих провідними країнами світу у галузі нанотехнологій за 2015-2016 роки.

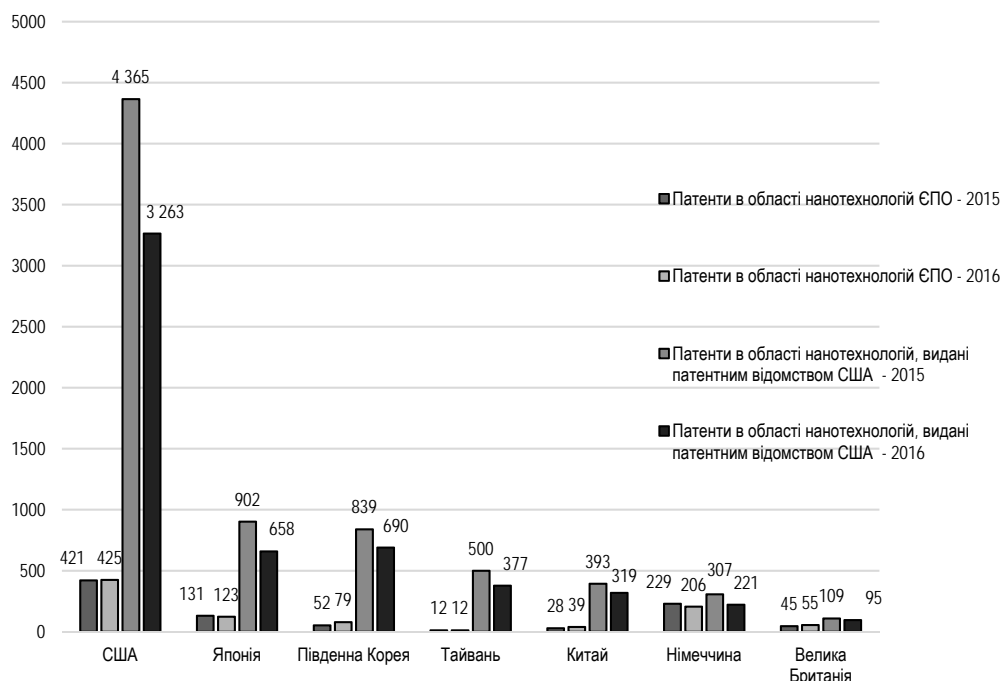


Рисунок 4 – Патенти у галузі нанотехнологій, видані ЄПО та патентним відомством США у 2015-2016 рр.

Важливість трансферу технологій та нанотехнологій, зокрема, уже доволі довго обговорюється і в політичних колах. Так, вважається, що економічний спад 70-х і 80-х років ХХ ст. у США був частково результатом повільних темпів комерціалізації академічних досліджень. У зв'язку з цим уряд США ввів різноманітні реформи, спрямовані на зміну ситуації, найбільшого розголосу з яких набули закон Бейя-Доула 1980 року, що дозволив університетам володіти правами на інтелектуальну власність своїх досліджень, які фінансуються державою; програма, спрямована на сприяння науковим дослідженням, що проводяться при співпраці університетів та комерційних компаній. У Європейському Союзі також було ініційовано нові програми, такі як Сьома рамкова

програма (FP6 та FP7), яка переросла у програму Горизонт-2020, програма підтримки сталого розвитку інноваційних підприємств (так звана програма КОСМЕ), спрямовані на стимулювання співпраці між університетами та комерційними компаніями. Сьогодні в більшості промислово розвинених країн уже розроблені різні посередницькі структури для підтримки трансферу технологій, все більше університетів починають створювати свої інфраструктури, діяльність яких спрямована на трансфер технологій, тобто вже можна говорити, що в університетах поряд із дослідницькою та викладацькою діяльністю виникає нова роль, спрямована на комерціалізацію науки [13].

Хоча у галузі трансферу нанотехнологій вже робляться активні кроки, але навіть зараз існує чимало проблем, які все ж перешкоджають успішному розвитку цієї галузі. Серед основних факторів, які чинять негативний вплив на цю галузь, найбільш характерними є: проблема у виявленні комерційних можливостей нанотехнологій та відсутність бізнес-дослідників технічних умов для серійного випуску нанотехнологій, поганий розвиток технологій виробництва, питання щодо захисту прав інтелектуальної власності, пасивність наукових дослідників і т. д. Тому для покращання ефективності процесу трансферу нанотехнологій дуже важливо зрозуміти, за якими моделями найчастіше відбувається трансфер технологій та як оцінити його результати. У цілому, громадські програми дослідження та розвитку, двосторонні програми дослідження та розвитку, консультації в тематиці досліджень та розвитку, конференції, семінари, спільні публікації, спільні лабораторії, тимчасова зайнятість є основними моделями, через які на цей момент найактивніше відбувається трансфер технологій.

Результати ж трансферу технологій кожна зі сторін оцінює по своєму. Так, для академічної сфери це насамперед виявлення нових актуальних питань у дослідженнях, отримання фінансування наукових досліджень, публікація результатів досліджень у журналах із високим індексом цитування, патентування та ліцензування результатів досліджень. Для комерційних компаній результати більшою мірою характеризуються знаходженням нових ідей для продуктів, підбором нових кадрів, удосконаленням існуючих та створенням нових продуктів і процесів та одержання прибутку [14].

**Висновки.** Отже, нанотехнології можна сміливо розглядати як один із найбільш перспективних напрямків науково-технічного розвитку на майбутні десятиліття. Одна з головних переваг галузі нанотехнологій – її мультидисциплінарність, що надає продуктам нанотехнологій широкий простір для їх застосування. Як наслідок, майже в усіх країнах світу продовжують робити все більші інвестиції в цю галузь, укладаються партнерські відносини між науково-дослідними інститутами та комерційними компаніями.

Розвиток цієї галузі також багато чим завдячує сфері трансферу нанотехнологій, діяльність якої активно спрямована на вирішення труднощів, що виникають при комерціалізації наукових розробок, та пришвидшення темпів самого трансферу нанотехнологій. Але на даний момент у цій галузі існує ще багато невирішених питань, між академічною та комерційною сферами залишаються суперечності в баченні самого процесу трансферу нанотехнологій та його основних пріоритетів, а самі його темпи ще залишаються достатньо повільними.

**Подальші дослідження** повинні бути спрямовані на більш глибокий аналіз сучасного стану галузі нанотехнологій в Україні, включаючи прогноз темпів розвитку галузі на наступні десятиліття, визначення основних перешкод ефективного трансферу нанотехнологій у нашій країні та пошук оптимальних стратегій для їх подолання.

1. Salerno M. Designing foresight studies for Nanoscience and Nanotechnology (NST) future developments / M. Salerno // Technological Forecasting and Social Change. – 2008. – № 75. – P. 1202-1223.



2. Linton D. Integrating innovation and learning curve theory: an enabler for moving nanotechnologies and other emerging process technologies into production / D. Linton, T. Walsh // *R&D Management*. – 2004. – № 34. – P. 517-526.
  3. Bhat J.S.A. Concerns of new technology based industries – the case of nanotechnology / J.S.A. Bhat // *Technovation*. – 2005. – № 25. – P. 457-462.
  4. Development Path [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.graphene3dlab.com/s/investors.asp#downloads>.
  5. Niosi J. Biotechnology and Nanotechnology: Science-based Enabling Technologies as Windows of Opportunity for LDCs? / J. Niosi, S.E. Reid // *World Development*. – 2007. – № 35. – P. 426-438.
  6. Kostoff R.T. Technical structure of the global nanoscience and nanotechnology literature / R.T. Kostoff // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2007. – № 9. – P. 721-724.
  7. Romig A.D. An introduction to nanotechnology policy: Opportunities and constraints for emerging and established economies / A.D. Romig // *Technological Forecasting and Social Change*. – 2007. – № 74. – P. 1634-1642.
  8. Here's an overview of six of the ways nanotechnology uses are making a big difference in our daily lives [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://investingnews.com/daily/tech-investing/nanotech-investing/top-nanotechnology-uses/>.
  9. Building the Global Hydrogen Economy: Technologies and Opportunities [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bccresearch.com/market-research/energy-and-resources/hydrogen-economy-opportunities-report-egy055c.html>.
  10. Hullmann A. Measuring and assessing the development of nanotechnology / A. Hullmann // *Scientometrics*. – 2007. – № 70. – P. 739-758.
  11. Матюшенко І.Ю. Проблема визначення пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в рамках пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні / І.Ю. Матюшенко // *Проблеми економіки*. – 2011. – № 2. – С. 14-25.
  12. Rothaermel F.T. The nanotech versus the biotech revolution: Sources of productivity in incumbent firm research / F.T. Rothaermel, M. Thursby // *Research Policy*. – 2007. – № 36. – P. 832-849.
  13. Nikulainen T. Transferring science-based technologies to industry – Does nanotechnology make a difference? / T. Nikulainen, C. Palmberg // *Technovation*. – 2007. – № 30. – P. 3-11.
  14. Palmberg C. The transfer and commercialisation of nanotechnology: a comparative analysis of university and company researchers / C. Palmberg // *The Journal of Technology Transfer*. – 2008. – № 33. – P. 631-652.
- 
1. Salerno, M. et al. (2008). Designing foresight studies for Nanoscience and Nanotechnology (NST) future developments. *Technological Forecasting and Social Change*, 75, 1202-1223 [in English].
  2. Linton, D., & Walsh, T. (2004). Integrating innovation and learning curve theory: an enabler for moving nanotechnologies and other emerging process technologies into production. *R&D Management*, 34, 517-526 [in English].
  3. Bhat, J.S.A. (2005). Concerns of new technology based industries – the case of nanotechnology. *Technovation*, 25, 457-462 [in English].
  4. Development Path. (n.d.). [www.graphene3dlab.com](http://www.graphene3dlab.com). Retrived from <http://www.graphene3dlab.com/s/investors.asp#downloads> [in English].
  5. Niosi, J., & Reid, S.E. (2007). Biotechnology and Nanotechnology: Science-based Enabling Technologies as Windows of Opportunity for LDCs? *World Development*, 35, 426-438 [in English].
  6. Kostoff, R. T. et al (2007). Technical structure of the global nanoscience and nanotechnology literature. *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 721-724.
  7. Romig, A.D. et al. (2007). An introduction to nanotechnology policy: Opportunities and constraints for emerging and established economies. *Technological Forecasting and Social Change*, 74, 1634-1642 [in English].
  8. Here's an overview of six of the ways nanotechnology uses are making a big difference in our daily lives. *investingnews.com*. Retrived from <http://investingnews.com/daily/tech-investing/nanotech-investing/top-nanotechnology-uses/> [in English].
  9. Building the Global Hydrogen Economy: Technologies and Opportunities. [www.bccresearch.com](http://www.bccresearch.com). Retrived from <http://www.bccresearch.com/market-research/energy-and-resources/hydrogen-economy-opportunities-report-egy055c.html> [in English].
  10. Hullmann, A. (2007). Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*, 70, 739-758 [in English].
  11. Matushenko, I.Yu. (2011). Problemy vyznachennia pryoritetnyh napriamiv rozvytku nanotekhnologii v ramkah pryoritetiv rozvytku nauky i tehniky Ukrainy [The problem of determining the priority areas of nanotechnology within the priorities of science and technology development in Ukraine]. *Problemy ekonomiky – Economics Problems*, 2, 14-25 [in Ukrainian].
  12. Rothaermel, F.T., & Thursby, M. (2007). The nanotech versus the biotech revolution: Sources of productivity in incumbent firm research. *Research Policy*, 36, 832-849 [in English].
  13. Nikulainen, T., & Palmberg, C. (2007). Transferring science-based technologies to industry – Does nanotechnology make a difference? *Technovation*, 30, 3-11 [in English].
  14. Palmberg, C. (2008). The transfer and commercialisation of nanotechnology: a comparative analysis of university and company researchers. *The Journal of Technology Transfer*, 33, 631-652 [in English].

**Е.М. Фесенко**, канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом по вопросам Международной научной и инновационной деятельности, трансфера технологий и защиты интеллектуальной собственности, Институт физики Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина);

**С.В. Ковальчук**, ведущий инженер, отдел по вопросам Международной научной и инновационной деятельности, трансфера технологий и защиты интеллектуальной собственности, Институт физики Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина);

**Р.А. Нищук**, младший научный сотрудник, отдел по вопросам Международной научной и инновационной деятельности, трансфера технологий и защиты интеллектуальной собственности, Институт физики Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина)

#### **Проблемы и перспективы развития нанотехнологий в Украине и мире**

*В статье анализируется мультидисциплинарность нанотехнологий и особенности развития и трансфера нанотехнологий в Украине и мире. Определены основные отрасли, в которых выпускается нанотехнологическая продукция, а также спрос на нанотехнологическую продукцию в мире в 2016 году. Приведены государственные программы Украины, направленные на поддержку развития нанотехнологий в стране, и представлен ряд технологий, уже практически применяемых, а также обозначены перспективность нанотехнологий и основные проблемы направления, которые нужно решить в ближайшем будущем.*

Ключевые слова: нанотехнологии, трансфер нанотехнологий, нанотрубки, промышленность, научные программы, малые и средние предприятия, научно-исследовательские институты.

**О.М. Fesenko**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department for International research and innovations cooperation, technology transfer and intellectual property protection, Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine);

**S.V. Kovalchuk**, Leading Engineer, Department for International research and innovations cooperation, technology transfer and intellectual property protection, Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine);

**R.A. Nyshchuk**, Junior Researcher, Department for International research and innovations cooperation, technology transfer and intellectual property protection, Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

#### **Challenges and opportunities for nanotechnology development in Ukraine and the world**

*The aim of the article.* The article deals with the multidisciplinary and problems of nanotechnology in Ukraine and the world, as well as applications of nanotechnology in various domains of sciences and engineering.

*The results of the analysis.* Special emphasis was placed on the peculiarities of transfer of nanotechnology. Given the breadth of potential applications, nanotechnology already has become a research priority for many countries which results in increased financial support for this area. In Ukraine in the last years universities and institute of NAS of Ukraine make basic scientific programs of nanoscale phenomena and in 2009 owing to initiative of scientists of the National Academy of Sciences of Ukraine the state goal oriented scientific and technical program «Nanotechnologies and nanomaterials» for 2010-2014 was launched. The program led to a lot of successful developments and unique technologies, especially in the field of nanocomposites. However, in comparison with countries with average level of development volumes of nanotechnology research and development, its introduction into production is rather low. Due to this fact the National Academy of Sciences of Ukraine created and adopted Resolution of the Presidium of NAS of Ukraine from 07.02.2015 of the «Concept of the target-oriented complex program of fundamental research of NAS of Ukraine «Fundamental issues of new nanomaterials creation» for 2015-2019». Analysis of the activities of the research institutions engaged in nanotechnological R&D shows that the greatest potential in Ukraine is possessed by nanophysics, nanobiotechnologies, nanochemistry and development of various nanomaterials.

This program gives opportunities to continue research started in 2010 and create new nanotechnologies and its integration into world research and resolution with its help of significant economic, social and environmental problems in Ukraine. While in the field of transfer of nanotechnology significant steps have been made, but even now there are many problems that still hamper the successful development of this sector.

*Conclusions and directions of further researches.* Thus, nanotechnology can be definitely regarded as one of the most promising areas of technological development for decades to come. One of the main benefits of nanotechnology is its multidisciplinary that provides products of nanotechnology with wide scope for their application. As a result, almost all countries around the world begin to increase investments in this area, more and more partnerships between research institutions and commercial companies are concluded.

The development of this industry also owes much to the field of nanotechnology transfer activities which actively aims to address the difficulties that arise in the commercialization of scientific developments and accelerate the pace of the transfer of nanotechnology. But at the moment in this area there are still many outstanding issues and between the academic and commercial spheres there are contradictions in the vision of the process of transfer of nanotechnology and its main priorities and its pace is still quite slow.

**Keywords:** nanotechnology, nanotechnology transfer, nanotubes, industry, research programs, small and medium-sized enterprises, research institutes.

Отримано 14.12.2016 р.