

УДК 621.798:655.33

ПРОБЛЕМИ ДРУКАРСЬКОЇ ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ГАЛУЗИ У СВІТЛІ ДОСЯГНЕНЬ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

© В. Васютина, В. П. Шерстюк, д.х.н., професор,
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Научно-технический прогресс определяется в настоящее время научно-емкими процессами и разработками, среди которых самыми перспективными, пожалуй, являются нанотехнологии. Проведен анализ данных, касающихся использования наносистем и наноматериалов в полиграфической и упаковочной отраслях и важных для проектирования современного производства упаковки с полиграфическим дизайном на основе новейших научно-технических достижений. Обращено внимание на важную роль достижений в области печатной электроники для современной микро- и нанoeлектроники и нанofотоники, а также для изготовления печатных нанoeлементов при защите ценных бумаг и упаковки для электронного наблюдения и сопровождения товаров. Приведена краткая историческая справка о научных достижениях, которые были положены в основу разработок нанотехнологий.

Nanotechnologies define nowadays scientific and technical progress as the most perspective science capacious processes and developments. An analysis of data as for nanosystems and nanomaterials using in printing and packaging is carried out what is important for projecting of modern productions of packages with Graphic Arts designs. The important place of printing electronics achievements is concerned for modern micro- and nanoelectronics as a base of some printing security and packaging with electronic articles surveillance producing. A short history of scientific achievements are concerned that there has been put in the ground of nanoscience and nanotechnologies.

*«Нанотехнології зроблять таку ж революцію
в маніпулюванні матерією, яку зробили
комп'ютери в маніпулюванні інформацією».*

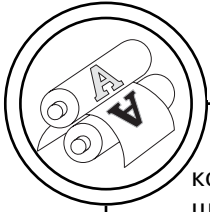
Ральф Меркле (Ralph Merkle),
дослідник в галузі нанотехнологій
*Нанотехнологія – це абсолютна технологія,
що забезпечує прогрес у всіх відомих технічних
застосуваннях від Земних до Космічних.*

Жорес Алферов,
Нобелівський лауреат 2004 року

Постановка проблеми

Для сучасного етапу розвитку пакувальної індустрії з використанням сучасних поліграфічних технологій характерним є

пошук нових друкарських і опоряджувальних процесів, а також засобів та матеріалів для їх реалізації. Наразі актуальними стають наукові підходи до вдос-



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

коналення чинних технологій шляхом використання найсучасніших науково-технічних досягнень з тим, аби використати їх у прогресі друкарства та поліграфічному дизайні пакувань [1—3].

Науково-технічний прогрес визначається наразі науковими технологіями, до яких і можна віднести нанотехнології. Дійсно, останніми роками набули інтенсивного розвитку дослідження і науково-технічні розробки технологій з використанням дисперсних систем, розмір частинок в яких знаходиться в межах кількох нанометрів — кількох десятків нанометрів.

Яку роль гратиме нано для виробництва пакування? Вже сьогодні фахівці стверджують, що різні використання нанотехнологій (матеріали, покриття поверхні і т. д.) приховують величезний потенціал можливостей і зростання для промисловості пакувальних матеріалів. Триваліше збереження продуктів, менша кількість відходів, велика безпека продуктів — лише деякі переваги, від яких виграє промисловість, торгівля і споживачі. Епоха нано, починається чи вже почалася для промисловості пакувальних матеріалів [2].

Актуальність такої роботи полягає у необхідності використання нанотехнологій у поліграфії та пакуванні, які б, з одного боку, відповідали загальносвітовим професійним стандартам у цій сфері, а, з іншого боку, мали б високу ефективність і результативність у реалізації нових привабливих властивостей пакувальних матеріалів і пакувань. Вагомою причиною для вибору

авторами дослідження саме такої теми стала загальна зацікавленість у багатьох сферах діяльності нашого життя цим новим поняттям «нанотехнологія», як методом створення нових корисних властивостей матеріалів і продуктів. Практичне значення досліджень і розробок у цій сфері полягає в тому, що продукція, випущена за новітньою технологією убезпечується від впливу негативних факторів або чинників і дозволяє краще зберігати запаковану продукцію [4].

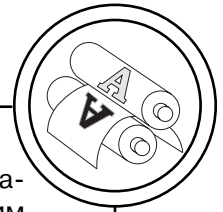
Мета роботи

Аналіз даних щодо використання наносистем і наноматеріалів у поліграфічній і пакувальній галузі для проектування сучасного виробництва пакувань з поліграфічним дизайном на основі найновіших науково-технічних досягнень.

Аналіз попередніх досліджень і розробок

Розвиток нанотехнологій був зумовлений тим, що класичні методи виробництва підійшли до свого природного економічного і технологічного бар'єру, коли розмір пристрою зменшується не набагато, зате економічні витрати зростають експоненціально. При цьому наномасштаб — це не лише наступний крок до мініатюризації, оскільки в порівнянні зі «звичайними» матеріалами або окремими молекулами наноматеріали зі структурними особливостями у вимірах до 100 нм набувають важливих змін, які не можуть бути пояснені традиційними моделями і теоріями.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



Очікується, що в наступному десятилітті нанодобавки міститимуться в чверті зі всіх паковань харчових продуктів. Тому не дивно, що велика група компаній виступила спонсорами науково-дослідної розробки SustainPack (сталий розвиток паковань), мета якої є поліпшення міцнісних і бар'єрних характеристик пакувальних матеріалів на основі природних волокон шляхом зміни їх властивостей на нанорівні [3, 4]. Наукові засади і обґрунтування властивостей нанорозмірних систем були предметом раніших публікацій [1—3].

Технологією можна називати сукупність методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей, форми сировини, матеріалу або напівфабрикату, здійснюваних в процесі виробництва продукції.

Особливість нанотехнології (приставка нано від грець. «nanos» — «карлик») полягає в тому, що дані процеси і здійснювані дії відбуваються в нанометровому діапазоні просторових розмірів. «Сировиною» є окремі атоми, молекули, молекулярні системи, а не звичні в традиційній технології мікронні або макроскопічні об'єми матеріалу, що містять, принаймні, мільярди атомів і молекул. На відміну від традиційної технології для нанотехнології характерний «індивідуальний» підхід, при якому зовнішнє управління досягає окремих атомів і молекул, що дозволяє створювати з них як «бездефектні» матеріали з принципово новими фізико-хімічними і біологічними властивостями, так і нові класи пристроїв з характер-

ними нанометровими розмірами. Тому може бути прийнятим таке визначення.

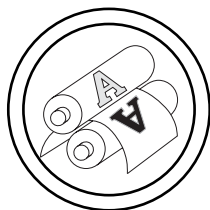
Нанотехнологією називається міждисциплінарна галузь науки, в якій вивчаються закономірності фізико-хімічних процесів в просторових ділянках нанометрових розмірів з метою управління окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових молекул, наноструктур, нанопристроїв і матеріалів із спеціальними фізичними, хімічними і біологічними властивостями [5, 6].

Нанотехнології та їх використання в поліграфії та пакуванні. Коротка довідка з історії нанотехнологій. 1903 р. першу Нобелівську премію з фізики присуджено голандсько-німецькому фізику Вільяму Рентгену за відкриття X-променів (фактичний співтворець — австрійсько-український фізик Іван Пулюй), що зробило можливим вивчення і спостереження структури кристалів.

1905 р. швейцарський фізик Альберт Ейнштейн опублікував роботу, в якій довів, що розмір молекули цукру складає приблизно 1 нанометр.

1931 р. німецькі фізики Макс Кнолл і Ернст Руська створили електронний мікроскоп, який вперше дозволив досліджувати надмолекулярні структури, які наразі відносять до великих нанооб'єктів.

1947 р. англійський фізик Деніс Габор, удосконалюючи електронний мікроскоп, відкрив голографію (Нобелівська премія!).



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

29 грудня 1959 р. американський фізик, лауреат Нобелівської премії Річард Фейнман вперше опублікував роботу, де оцінювалися перспективи мініатюризації. Основні положення нанотехнологій були намічені в його легендарній лекції «Там внизу — багато місця» («There's Plenty of Room at the Bottom»), виголошеній ним у Каліфорнійському Технологічному Інституті. Фейнман науково довів, що з точки зору фундаментальних законів фізики немає жодних перешкод, щоб створювати речі прямо з атомів. Тоді його слова здавалися фантастикою тільки з однієї причини: ще не існувало технології, яка б дозволяла керувати окремими атомами (тобто взяти певний атом і поставити його на інше місце). Щоб стимулювати інтерес до цього, Фейнман призначив винагороду в \$ 1000, тому, хто вперше запише сторінку з книги на шпильковій голівці, що, до речі, здійснилося вже 1964 року.

1965 р. американський дослідник в галузі напівпровідникової технології Годон Мур (Gordon Moore) зформулював твердження, що згодом отримало назву закону Мура: «Число компонентів, що може бути розміщене на інтегральній схемі і, відповідно кількість інформації, подвоюється кожні півтора-два роки». Прогнози того часу показували, що на початку XXI століття елементи інтегральних схем мали б бути нанометрового діапазону.

1974 р. японський фізик Норіо Танігучи (Norio Taniguchi) ввів у науковий обіг слово «на-

нотехніка», у знаменитій доповіді «Про основну концепцію нанотехнології», запропонувавши називати так структурні елементи розміром менше 1 мікрона.

1981 р. німецькі фізики Герд Бінніг і Генріх Рорер створили скануючий тунельний мікроскоп — прилад, що дозволяє здійснювати дію на речовину на атомарному рівні. Через чотири роки вони отримали Нобелівську премію.

1986 р. створений атомносиловий мікроскоп, що дозволяє, на відміну від тунельного мікроскопа, здійснювати взаємодію з будь-якими матеріалами, а не лише з провідними.

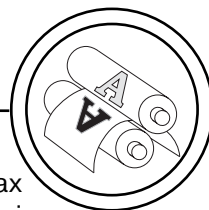
1986 р. нанотехнологія стала відома широкій публіці. Американський футуролог Ерік Дрекслер опублікував книгу «Машина творення», в якій передбачив, що нанотехнологія незабаром почне активно розвиватися.

1989 р. Дональд Ейглер, співробітник компанії IBM, виклав назву своєї фірми атомами Ксенону.

1991 р. використання фуллеренів (циклічних компактних утворень, наприклад C_{60}) для створення вуглецевих нанотрубок діаметром 0,8 нм японським професором Суміо Ліджіма, який працював в компанії NEC. Саме на їх основі сьогодні випускаються матеріали, які мають в 100 разів більшу міцність, ніж сталь.

В цьому ж році в США почала працювати і нанотехнологічна програма Національного наукового фонду. Подібною ж діяльністю зайнявся і уряд Японії. У Європі ж підтримка аналогічних

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



досліджень, що діє, на державному рівні почалася лише в 1997 році.

1998 р. голандський фізик Сеез Деккер створив нанотранзистор. Для створення транзистора Деккеру довелося першим у світі виміряти електричну провідність нанотрубок.

Також у цьому році був зроблений запуск програми з розвитку наноелектроніки «Astrobooy» в Японії.

1999 р. розробка американськими вченими Джеймсом Туром (Райський університет) та Марком Ридом (Йельський університет) принципа маніпулювання однією молекулою, а також ланцюгом молекул.

2000 р. німецький фізик Франц Гіссібл зміг розгледіти субатомні частинки в кремнії.

Роберт Магерле запропонував технологію нанотомографії — розробку 3-вимірної картини внутрішньої будови речовини з роздільною здатністю 100 нм.

Адміністрація США оголосила «Національну нанотехнологічну ініціативу» (National Nanotechnology Initiative — NNI). Тоді з федерального бюджету США було виділено \$ 500 млн.

2002 р. Сеез Деккер здійснив сполучення вуглецевих трубок з ДНК, що відкрило перспективи біомедичних нанотехнологій.

Фінансування NNI склало \$ 697 млн., що на \$ 97 млн. більше плану.

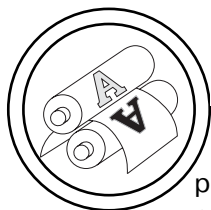
2004 р. адміністрація США підтримала «Національну наномедичну ініціативу» як частину NNI. Стрімкий розвиток нанотехнологій викликаний ще і потребами в швидкій переробці величезних масивів інформації.

У дослідницьких центрах американських університетів і фірм здійснене наноконтакне друкування, чим започатковано імпринтну літографію і новий етап у подальшій мініатюризації електронних і фотонних приладів.

2007 р. Вольф Гейко з Технологічного Університету Цюріха та лабораторії IBM виготовив примірник банкноти з вдрукованим зображенням, що містило 20 тис. наночастинок золота [1, 2, 6—9].

Нанотехнології як складова сучасного науково-технічного прогресу. Отже, наприкінці минулого століття почалася нова науково-технічна революція, що знаменувало собою вступ людської цивілізації до ери нанотехнологій, яка в майбутньому здатна істотно змінити та удосконалити процеси в різних сферах виробництва, в тому числі в поліграфії та пакувальній галузі. Тому в багатьох країнах прийняті і продовжують розроблятися пріоритетні національні програми наукових досліджень з нанотематики зі значними обсягами фінансування [6].

Звичайно, перебудова відбувається і у поліграфічній галузі. Як ми вже знаємо, і раніше друкарі були серед перших, хто використовував винаходи, такі як наприклад фотореєстрацію, щоб зробити фотомеханічним способом ілюстративні друкарські пластини [1]. Тому поліграфічна галузь ніколи не відставала від досягнень технічного прогресу і завжди слідувала і слідує за ними. До речі, фотографічні матеріали і процеси з високою



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

роздільною здатністю зараз оцінюють, як етап розвитку нанофотоники.

Протягом останнього десятиріччя слово «нанотехнології» міцно закріпилося у суспільній свідомості, ставши свого роду синонімом передового, сучасного, новітнього. Про нанотехнології говориться дуже багато і на самих різних рівнях, починаючи від учених, і закінчуючи розмовами на побутовому рівні між людьми, вельми далекими від науки. Тема розвитку нанотехнологій часто піднімається в засобах масової інформації і у виступах політиків самого високого рівня, включаючи президентів і прем'єр-міністрів. При цьому говориться про початок нової науково-технічної (нанотехнологічною) революції і XXI вік називають століттям нанотехнологій [10].

Але наскільки висока обізнаність нашого суспільства із нанотехнологіями? Як свідчать різноманітні дослідження — уявлення більшості про нано-

технології обмежуються тільки мікросхемами (чіпами) та сферою електроніки. Однак, реалії застосування нанотехнологій сьогодні значно масштабніші [6].

Фінансові аспекти. Фахівці наводять наступні дані щодо розвитку ринку нанотехнологій. Близько третини всіх світових інвестицій у цій галузі припадає на частку США. Інші провідні гравці на цьому полі — Європейський Союз та Японія (табл., рис. 1).

Глобальні інвестиції в розвиток нанотехнологій в світі, за даними 2007 р., склали близько \$ 13,5 млрд. При цьому приблизно 36 % цієї суми припали на інвестиції, зроблені в США. Вкладення в цій же сфері в таких країнах Азії, як Японія, Республіка Корея, Китай і Індія, в сумі не набагато поступаються інвестиціям аналогічного призначення в США, а в країнах Євросоюзу — на 8-9 % менше, ніж в Сполучених Штатах (рис. 2) [12].

Оцінковий світовий об'єм фінансування нанотехнологій в період 1997-2005 рр. у млн. дол./рік [11]

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Європа	126	151	179	200	225	400	650	950	1050
Японія	120	135	157	245	465	750	810	875	950
США	116	190	255	270	422	604	862	989	1200
Інші*	70	83	96	110	380	520	511	900	1000
Всього	432	559	687	825	1502	2274	2833	3714	4200

*Інші: Австралія, Корея, Канада, Тайвань, Китай, Росія, Сінгапур, Східна Європа.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

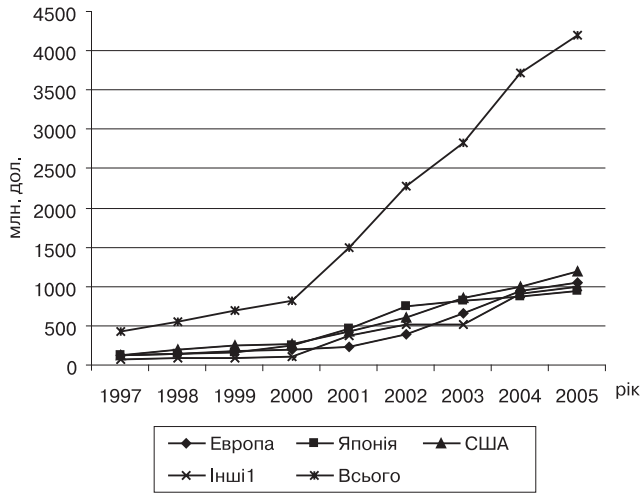
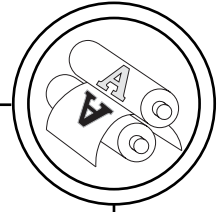


Рис. 1. Динаміка виділення коштів на нанотехнології

Про динаміку інвестування свідчать також і такі цифри. Якщо у 2004 р. в цю галузь у світі інвестовано \$ 10 млрд, то до 2015 р. ця сума, за оцінкою американської компанії Lux Research, досягне \$ 1 трлн. Це доводить, що нанотехнології займають важливе місце у розвитку багатьох сфер діяльності. Дослідження в сфері нанотехнологій активно ведуться також у країнах колишнього ССРСР, зокрема в Російській Федерації [13].

Прем'єр-міністр РФ Владімір Путін заявив «Нанотехнологія — це діяльність, на яку уряд не пошкодує грошей». Слід зазначити, що половина усіх фінансів, що виділяються в Росії на науково-технічний розвиток (а це не малі гроші, оскільки включають і оборонну проблематику) направляється на нанотехнології. Державною програмою з нанотехнологій в Росії опікується віце-прем'єр. За ініціативою прем'єр-міністра в Санкт-Петербурзі створений загальнодержавний Центр нанодосліджень, обладнаний найновішими приладами і методами.

Слід ще раз підкреслити, що нанотехнології є галузь міждисциплінарна. Сфери їх застосування пов'язані із такими науками як фізика, хімія, біологія та охоплюють такі різноманітні прикладні галузі як: електроніку, космічну галузь, косметику, деталі автомобілів, медикаменти, упаковку їжі, спортивну екіпіровку.

Слід ще раз підкреслити, що нанотехнології є галузь міждисциплінарна. Сфери їх застосування пов'язані із такими науками як фізика, хімія, біологія та охоплюють такі різноманітні прикладні галузі як: електроніку, космічну галузь, косметику, деталі автомобілів, медикаменти, упаковку їжі, спортивну екіпіровку.

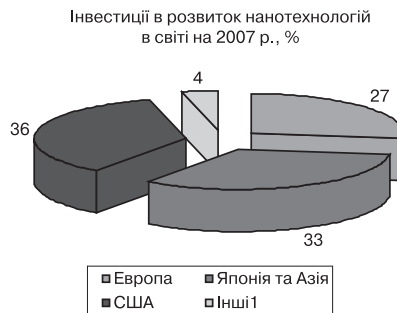
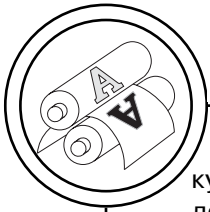


Рис. 2. Частка різних країн у витратах на розвиток нанотехнологій в 2007 р.



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

ку і т. ін. Крім того, активно досліджується можливість використання нанотехнологій у військовій промисловості, сільському господарстві, ведеться робота по можливому їх застосуванню для зменшення рівня різного роду забруднення довкілля.

Перерахувати всі області, в яких ця глобальна технологія може істотно вплинути на технічний прогрес, достатньо важко. Можна назвати лише деякі з них, зокрема ті, що очевидно можуть бути пов'язані з проблемами поліграфії та пакування:

- елементи наноелектроніки і нанофотоніки (напівпровідникові транзистори і лазери; фотодетектори; сонячні елементи; різні сенсори);

- пристрої надщільного запису інформації;

- телекомунікаційні, інформаційні і обчислювальні технології; суперкомп'ютери;

- відеотехніка — плоскі екрани, монітори, відеопроєктори;

- молекулярні електронні пристрої, у тому числі перемикачі і електронні схеми на молекулярному рівні;

- нанолітографія і наноімпринтинг;

- пристрої мікро- і наномеханіки, у тому числі молекулярні мотори і наномотори, нанороботи;

- нанохімія і каталіз, у тому числі нанесення покриттів, електрохімія і фармацевтика;

- пристрої контролю стану довкілля;

- реєстрація і ідентифікація канцерогенних тканин, патогенів і біологічно шкідливих агентів; безпека в сільському госпо-

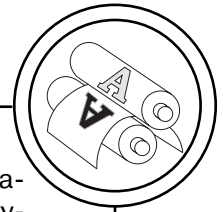
дарстві і при виробництві харчових продуктів [14].

Отже бачимо, що нанотехнології — це насправді складова сучасного науково-технологічного прогресу, де вже є великі досягнення і слід очікувати ще грандіозніших у майбутньому.

Нанотехнології в Україні. У нашій країні нанотехнологіям також приділяється з кожним роком все більше уваги навіть в умовах дуже обмеженого і явно недостатнього фінансування науки. В Україні створено спеціальну Комісію НАН України з нанотехнологій, яка координує роботу багатьох наукових центрів, організує конференції з нанонаук і нанотехнологій, які засвідчують великий потенціал нашої країни в дослідженнях наносистем і реалізації найсучасніших технологій. Можна виділити дві найперспективніші області застосування українських нанотехнологій — електроніка і матеріалознавство. Також в Україні є певні конкурентні переваги в області наномеханіки — створенні приладів для роботи в мікропросторі. Україна ще не втратила свої шанси — в майбутньому будь-яка галузева програма тим або іншим чином потребуватиме впровадження нанотехнологій, адже більшість розробок такого роду вже сьогодні мають дво- та трирівневе застосування в економіці.

На відміну від своїх західних колег українські компанії існують переважно за рамками національної програми розвитку нанотехнологій. Міністерство науки і освіти прагне триматися

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



в руслі нових тенденцій і має відповідну програму, Державний Фонд Фундаментальних Досліджень (ДФФД) стимулює проведення досліджень у пріоритетних напрямках у національному та міжнародному вимірах. Проте вітчизняні нанокорпорації існують переважно поза неї і не отримують державного фінансування. Згідно загальнодержавної програми розвитку високотехнологічних технологій на розвиток нанотехнологій, мікроелектроніки, створення і впровадження інформаційних технологій в 2006 році з бюджету планувалося виділити на НІОКР 78,7 млн. грн. Але й цих коштів так і не було отримано [15, 16]. Про 2009 рік говорити не доводиться. Можна погодитись з думкою фахівців, що якщо Україна втратить свій потенціал в області нанотехнологій, вона буде приречена на роль постачальника сировини для світової економіки. Адже в майбутньому успішний розвиток навіть медицини і сільського господарства навряд чи буде можливим без впровадження нанорозробок.

При правильному аналізі і розумінні сучасних досягнень, а також тенденцій і перспектив інноваційного розвитку і зосередженні людських і матеріальних ресурсів на його ключових напрямках, Україна обов'язково увійде до числа розвинених країн світу. І однією з обов'язкових умов цього є виділення, становлення, зростання і вдосконалення нанотехнологій, чому вже сьогодні слід приділяти пильну увагу на всіх рівнях [15].

Так, у 2009 році в Східноукраїнському національному уні-

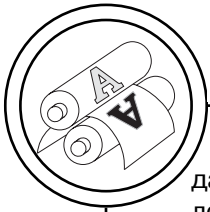
верситеті імені Володимира Давидовича вперше проведено набір студентів, що бажають стати фахівцями в області нанотехнологій. За словами ректора Олександра Голубенка, вчені Далівського університету вже сьогодні проводять дослідження у цій ділянці науки, які за важливістю порівнюються зі створенням свого часу двигуна внутрішнього згорання [17].

Наукова конференція, що відбулася 2009 року на базі Прикарпатського національного університету імені В. Стефаника і в роботі якої взяли участь науковці шістнадцяти країн світу, прийняла рішення про створення в Україні наукового центру «Фізика, хімія і технологія наноструктур», що займатиметься підготовкою молодих учених, а також передовими дослідженнями і розробками, заснованими на нанотехнологіях [18].

Нанотехнології в друкарстві.

За прогнозами експертів, розвиток нанотехнологій в поліграфії через 10-15 років дозволить створити нову галузь економіки з обігом у 15 млрд. доларів і близько 2 млн. робочих місць [13]. На сучасному етапі із застосуванням нанотехнологій розроблено велику кількість ноу-хау у поліграфічному та пакувальному виробництві. Розглянемо найбільш цікаві новинки.

У результаті 60-літніх досліджень чорних порошків, застосовуваних у копіювальних апаратах і тисяч запатентованих відкриттів сучасні види тонерів (порошкоподібних друкарських фарб) мають кращу плинність, краще зберігаються, краще під-



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

даються закріпленню й проявленню, забезпечуючи чіткі, гарні відбитки. Останнім досягненням у цій області є ЕА (Emulsion Aggregation)-тонер, який може бути віднесений до продуктів нанотехнології.

ЕА-тонер являє собою конденсаційний тонер, створений методом агрегування, тобто в процесі вирощування дрібних однорідних часточок із ще дрібніших елементів, якими є молекулярні та йонні прекурсори. Це робить новий тонер менш енергоємним. Цей процес дозволяє формувати частинки необхідного розміру з мінімальним відхиленням, що потрібно для одержання високої якості кольорового друку. Поводження частинок ЕА-тонера, малих за розміром й однорідних за складом, більш передбачуване, ніж частинок у складі звичайного тонера, виготовленого за традиційною технологією механічної пульверизації пластикових часточок [19].

Дуже важливим є також використання нанотехнологій у виробництві валів для друкарських машин. Так, фірма Westland розробила Lototech — інноваційний еластомер з покриттям розробленим із застосуванням нанотехнологій.

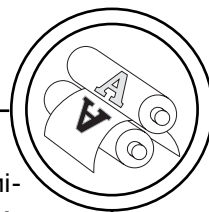
Werodamp Lototec — це зволожувальні валики фірми Westland для офсетного друку. Вони покриті спеціальним шаром Lototec. Цей шар значно збільшує стійкість валиків, а також полегшує їх чищення, завдяки чому можна значно обмежити кількість вживаних хімічних засобів. Друк з використанням цього різновиду валиків має вищу якість — малюнок стає чіткішим,

окрім цього процес друкування не шкодить довкіллю.

Назва Lototec походить від ефекту, що виникає на валику, — вода створює краплю схожу на краплю, що виникає на аркуші лотоса. Оболонка Lototec не дозволяє хімікатам проникати всередину гумового шару, з якого зроблений зволожуючий валик. Це значно покращує процес миття валиків і дозволяє економити чистячі засоби; практично їх потрібна незначна кількість. Циліндр з оболонкою Lototec досить протерти, щоб отримати чисту поверхню. Технологія Werodamp LT також ефективно забезпечує захист циліндра від емульсії фарба-вода, яка робить на нього деструктивний вплив. Отже, завдяки технології Werodamp LT можна добитися кращої якості, одночасно зберігаючи час і гроші [20].

Фірма Swedev AB (Швеція), світовий лідер з виробництва ножів ракелів для флексо- та глибокого друку, використовує спеціально виготовлені сталеві смуги. Їх дрібнозерниста структура відрізняється підвищеним вмістом рівномірно розподілених карбідних включень. Переваги (на додаток до підвищеної якості друку) — сповільнений знос, менша кількість металевої крихти, знижене тертя і не настільки сильні наслідки при утворенні подряпин. Компанія також пропонує зносостійкі ножі ракелів з багатошаровим покриттям, твердішим і не таким пластичнішим, як сталева основа. Тут вважають, що з розвитком нанотехнологій функціональних покриттів стане більше [21].

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



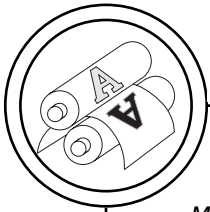
Сферою застосування нанотехнологій є також тестування фарб і покриттів. Замість нанесення речовин на десятки різних поверхонь, тепер можна наносити їх на одну, що містить весь спектр можливих варіантів змочуваностей на площі в декілька квадратних сантиметрів. Дослідники з Національного Інституту Стандартів і Технології (National Institute of Standards and Technology) розробили надзвичайно зручний метод створення тестових поверхонь із змінною змочуваністю, так що на одній поверхні можуть знаходитися ділянки з супергідрофільними і супергідрофобними, а також всіма проміжними властивостями. Нововведення групи з НІСТ полягає в тому, що вони покрили гранули світлочутливим матеріалом, що реагує на ультрафіолетове випромінювання, що дозволило легко управляти властивостями поверхні: чим довше ділянка поверхні піддається опроміненню, тим гідрофільнішим він стає. На нашу думку, ці результати можуть бути покладені в основу удосконалень методу плоского друку [22].

Доречно зауважити, що українські науковці з Інституту надтвердих матеріалів НАН України показали, що нанорозмірні карбонові шари можуть в залежності від ступеня окиснення змінювати майже рекордну гідрофобність на високу гідрофільність [23]. На нашу думку процес окиснення-відновлення, що призводить до ефекту гідрофілізація-гідрофобізація, може бути реалізований фотохімічним шляхом, як у вище описаній розробці американських дослідників.

Наразі з'явилися нові терміни такі, як «нанодрук». Так, компанія Torrap Printing представила нову технологію друку «нанотекст» для нанесення мікроскопічного тексту на голографічні зображення. Компанія заявила про свої плани по використанню нанотексту для забезпечення ще одного рівня безпеки для своєї голографічної протифальшувальної технології «Crystagram». Голографічний друк «нанотекст» використовує електронні промені для нанесення символів в 30 разів менших, ніж це можливо за допомогою технології «мікротекст». З розділенням приблизно 100 нанометрів, тепер стало можливим друкувати більше 20 голографічних символів на просторі шириною в людський волос (близько 80 мікрон). Слід зазначити, що залишається не ясним, чи є ця технологія власне друкарською і чи можуть тиражуватися «нанотексти» при однократному використанні експозиції електронними пучками.

Голограми давно почали використовуватися як ефективний метод для запобігання фальсифікації різних речей, починаючи з цінних паперів і закінчуючи кредитними картками і розкішними марочними товарами — це наступна перешкода, яку доведеться долати підробникам, заявляє Торрап.

З цих прикладів можна побачити, що нанотехнології охоплюють багато різноманітних ланок у поліграфії. Вони відіграють також значну роль у розвитку пакувальної індустрії [24].



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

Нанотехнології у пакувальному виробництві. З початком активного впровадження в промисловості нанотехнологій, всі учасники ринку пакувань теж почали передивлятися багато концепцій і рішень. Те, що раніше здавалося неможливим, сьогодні стало реальністю. Нанокompозити, з одного боку, дозволяють легко комбiнувати і поєднувати, наприклад, дрібнодисперсні неорганічні компоненти (які забезпечують додаткові властивості, такі як механічну міцність, термо- і стійкість до різних дій, бар'єрні властивості) з довгими молекулами полімерів, а з іншого боку, здешевлюють вартість упаковки. Сьогодні глобальний ринок нанокompозитів зростає приголомшуючими для світових ринків темпами 18-25 % і досягає 255 млн. дол.

У найближчі п'ять років очікується істотне зростання в області нанотехнологій в пакувальній галузі (рис. 3). Зараз невідпінно зростають вимоги до безпеки і якості продуктів харчування відповідно до світових стандартів. Це приведе до

збільшення ринку нано-упаковки з 4,13 млрд. доларів в 2008 році до 7,3 млрд. доларів в 2014 році, з щорічним приростом в 11,65 %.

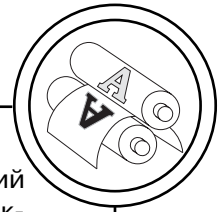
Використання нанотехнологій в галузі харчових пакувань включає покращувані механічні, бар'єрні і антимікробні властивості, а також впровадження датчиків стеження і моніторингу за продуктами під час перевезення і зберігання. За цими дослідженнями, активні технології в упаковці продуктів харчування займають найбільшу частку ринку, тоді як найбільше зростання передбачається в сегменті розумних пакувань, де середній щорічний приріст складе близько 19 % і до 2014 року цей ринковий сектор досягне 2,47 млрд. доларів.

В даний момент в секторі активних пакувань домінують пакування з шаром, що поглинає кисень (oxygen scavengers), бар'єрні та пакування з вологопоглиначами. Їхня частка доходить до 80 % ринку активних пакувань. У секторі «розумних» пакувань, найбільше зростання передбачається виробництву



Рис. 3. Динаміка збільшення ринку нано-упаковки

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



паковань з RFID-чіпами, тоді як найбільша частка ринку за тимчасовими температурними датчиками [25, 26]. Ми у цьому огляді не торкаємося нанотехнологій у пакувальній сфері для виготовлення друкарськими методами радіочастотних ярликів — транспондерів — RFID, про що йшлося в роботах [2—3].

Наноцелюлоза. Дослідники з Тихоокеанської північно-західної національної лабораторії (PNNL) виростили кристали металів раніше небаченої форми, підібравши і закристалізовуючи відповідні формою волокна бавовняної целюлози. Отримані кристали можуть знайти вживання в багатьох областях нанотехнології. Використовуючи оброблені кислотою волокна целюлози як природний шаблон, група з PNNL змогла виростити однорідні за розміром нанокристали золота, срібла, паладію, платини, міді, нікелю і інших металів, а також їх оксидів. Отримані нанокристали проявляють каталітичні, електричні і оптичні властивості, не характерні для великих або різнорозмірних кристалів.

Кислотна обробка підвищує ступінь кристалічності целюлози, руйнуючи її аморфні ділянки. До отриманих зразків нанокристалічної целюлози, що диспергують у воді, додають солі металів, поміщають систему в автоклав і нагрівають при температурах від 70 до 200 °C протягом 4-16 годин. Така обробка приводить до утворення однорідних кристалів металів на целюлозному шаблоні.

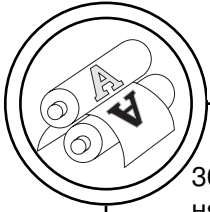
Нанопапір. Дослідники університету Арканзаса (University

of Arkansas) розробили новий матеріал — папір з нановолокна. І хоча її так само можна складати, м'яти, різати, останні властивості мало нагадують звичний папір.

Використовуючи метод гідротермального нагріву, учені під керівництвом професора Райана Тяня (Z. Ryan Tian) створили довгі нанонитки з діоксиду титану, а потім з них зробили плоскі мембрани. Вийшов білий матеріал, що нагадує папір, з якого легко можна робити тривимірні предмети найширшої функціональності. Папір можна використовувати у військовому обмундируванні, як вогнетривкий матеріал, для фільтрації рідин, для дозування лікарських препаратів і навіть для розкладання небезпечних речовин — від звичайних забрудників середовища до хімічної зброї.

Також розроблено високо-технологічні пакування з нанокompозитами в складі, що адсорбують кисень. Ці пакування, з одного боку, запобігають проникненню кисню всередину пакувань до продукту із зовнішнього середовища за рахунок зовнішніх бар'єрних шарів (наприклад, PA, EVOH, PET), а з іншого боку, поглинають кисень, що зберігається в пакуванні, або що виділяється з продукту зсередини пакування або в невеликій кількості пропускається зовнішніми бар'єрними шарами. Забезпечується це за рахунок середніх шарів структури бар'єрної плівки.

Такі пакування піддаються додатковій радіаційній обробці (електронні пучки, УФ) і містять антиоксиданти. В результаті на



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

30 % збільшується час зберігання продукту фасовки в порівнянні із звичайними бар'єрними пакуваннями [27].

Допоміжні матеріали у пакуванні. Наноклей розробили дослідники з Rensselaer Polytechnic Institute (США). Вони знайшли спосіб, як склеїти два матеріали, які зазвичай не прилипають один до одного. Новий зв'язуючий матеріал складається з нанорозмірних шарів полімерних ланцюгів, що самозбираються.

Клей складається з полімерних ланцюгів, кінці яких модифіковані такими елементами, як сульфур, силіцій (кремній) або кисень. Наприклад, сульфур використовується для кріплення до мідних поверхонь. Зазвичай подібні модифіковані полімерні ланцюги самозбираються в шари, утворюючи «ліс». Проте нагрів швидко руйнує зв'язки $Cu-S$, і зчеплення пропадає.

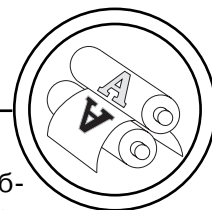
Дослідники розмістили на протилежному кінці полімерного «лісу» О-групи і зробили сендвіч мідь-полімер-кремній оксид. При кімнатних температурах полімерні ланцюги не прилипають до поверхні SiO_2 , але при нагріванні вище $400^\circ C$ утворюються гідрогенні зв'язки і міцні силосанові містки, які не руйнуються і при охолодженні. Таким чином, «ліс» не руйнується, а зв'язок міді і оксиду кремнію зміцнюється. Суперклей може використовуватися в електроніці для кріплення мікросхем, а також для створення жароміцних фарб і покриттів.

Нанолаки і нанокомпозити. Саратовське підприємство «Москатель» — єдине в Росії під-

приємство, що упровадило у виробництво лакофарбових і композиційних матеріалів досвід молекулярної нанотехнології. Перехід виробничого підприємства «Москатель» на молекулярне виробництво (використання молекулярної нанотехнології замість макротехногенної технології з її енерго- і металоемним устаткуванням) дозволив понизити енергоємність виробництва за рахунок того, що працюють не електромотори, а спеціальні компактні нанороботи-асемблери. Підприємство само забезпечує себе асемблерами — функціональними молекулярними утвореннями для нанотехнологічних робіт у лако-фарбовій промисловості, і продає їх іншим лакофарбовим підприємствам. Частка асемблерів в об'ємі продажів зростає, тоді як виробництво ЛКМ залишається приблизно на одному рівні. Підприємства все більше переходять на виробництво і продаж наукоємної продукції — елементів для молекулярної нанотехнології.

Розроблені асемблери — складальники молекулярного нановиробництва — дозволяють практично за хвилину готувати лак (розчин полімеру в розчиннику) на відміну від відомих технологій, що передбачають багатогодинне розчинення навіть бісеру полімеру, практично за добу повітряної сушки отримувати стійку до змивання барвисту плівку з вододисперсних композицій. Для порівняння: імпорتنі ВД-фарби вимагають десятиденного терміну до досягнення стійкості хоч б до атмосферних опадів.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



Керівники дослідницького проекту, Аарон Смол (Aaron Small) і професор Джим Джонстон (Jim Johnston) вивчили методи нанесення наночасток на папір і пакувальні матеріали, роблячи акцент на рентабельності цих процесів. Результатом роботи з'явилося додавання всього лише однієї нескладної стадії в кінці технологічного процесу виготовлення паперових виробів; і це удосконалення дає можливість отримувати продукцію з цілим спектром нових властивостей: магнітних, електропровідних і навіть оптично активний папір [28].

Патенти та публікації у сфері нанотехнологій. У зв'язку зі значним зростанням інтересу і інвестицій в розвиток нанотехнологій останніми роками спостерігається також бурхливе зростання патентів і різного роду публікацій. Їх зростання таке стрімке, що часто навіть говорять про інформаційний бум, вибух і тому подібне. В порівнянні з іншими проривними напрямками, які з'явилися раніше (комп'ютерна техніка, Інтернет, біотехнологія), патентування

основних ідей і винаходів в області нанотехнології почалося практично з моменту її розвитку. Перші патенти були видані на вуглецеві нанотрубки, напівпровідникові нанокристали, світло-випромінювальні нанокристали, наностержні з оксидів металів, атомно-силові мікроскопи, способи виготовлення наночашу.

В період 1986-1996 рр. середньорічний темп приросту числа патентних заявок у сфері нанотехнологій, поданих США і Європейським Союзом, склав 12 %. З 1997 р. ця величина зросла в США майже до 18 %, а в ЄС — до 19 %. З середини 1990-х рр. помітно підвищуються і показники інших країн. Особливо високий приріст зафіксований в Кореї починаючи з 1997 р.: його середньорічні темпи в 1999-2001 рр. досягли порядку 40 %.

В середині 2004 р. число патентів і поданих заявок досягло 20 тис. Динаміка подачі заявок різноманітними країнами на кінець 2004 р. була наступною: США — 49 %, Японія — 25, країни ЕПО — 18 (Німеччина — 8, Франція — 4, Великобританія — 3, Корея — 2, інші країни — 6 % (рис. 4).

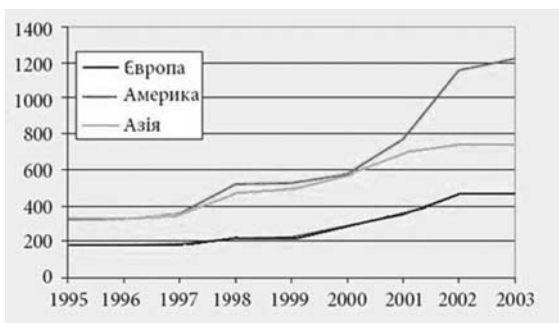
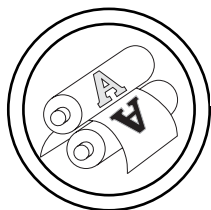


Рис. 4. Нанотехнологічні патенти по регіонах винаходів



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

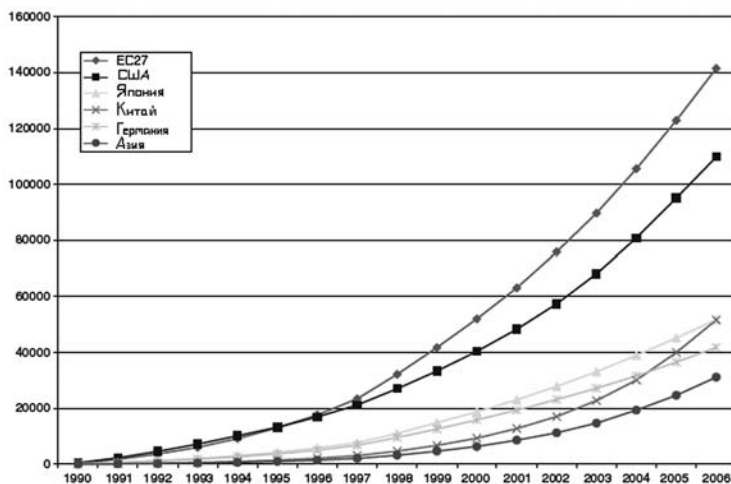


Рис. 5. Динаміка зростання сумарної кількості публікацій, що стосуються нанотехнологій, у ряді окремих країн і груп країн (ЕС27 — країни Євросоюзу, Азійські Тигри — Південна Корея, Сінгапур, Тайвань)

На початок 2006 р. патентний фонд містив вже 68 тис. патентів. Найбільше число патентів на нановинаходи відноситься до опрацювання, зберігання і передачі даних (35 %), використання наноматеріалів (24 %) і явищ наноманетизму (17 %). Всього в світі опубліковано близько 100 тис. патентів з цієї тематики [29].

Також дуже велика кількість публікацій щодо цієї тематики. На графіку можна побачити динаміку зростання публікацій за півторадесятилітній період з дев'яностих років (рис. 5) [30].

Графіки, які демонструють стрімке зростання кількості патентів і публікацій, доводять, що нанотехнології насправді бурхливо розвиваються. Це свідчить про їх актуальність як сьогодні, так і в майбутньому та про необхідність проектування нових виробництв зокрема пакуваль-

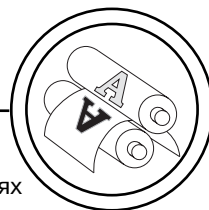
ної продукції із впровадженням наноматеріалів і процесів.

Висновок

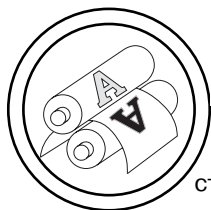
Бурхливий розвиток міждисциплінарної галузі нанотехнологій не залишив осторонь поліграфічне і пакувальне виробництво включно з різноманітними поліграфічними матеріалами. Коротка історія науково-технічного розвитку, що привів до народження і становлення нанотехнологій, показує, що цей науково-технічний напрямок буде і надалі визначати технологічний прогрес у багатьох сферах людської діяльності. Проектування нових виробництв друкарсько-пакувального напрямку повинно враховувати ці новітні досягнення.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України (проект Ф25.4/052, договір Ф25№ 196-2008; договір № М-49-2009).

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



1. В. П. Шерстюк. Наносистемы в традиционных и новых технологиях полиграфии / В. П. Шерстюк, В. В. Швалагин, О. В. Гуменюк, Л. П. Сторожук, П. П. Горбик // Химия высоких энергий. — 2008. — 42. — № 4 (приложение). — С. 61—63.
2. В. П. Шерстюк. Нанотехнології в друкарстві / В. П. Шерстюк, О. В. Гуменюк // Технологія і техніка друкарства. — 2008. — № 3-4. — С. 63—73.
3. В. П. Шерстюк. Мікро- і наноконтактні процеси та RFID-технології у друкарстві та пакуванні / В. П. Шерстюк, О. В. Гуменюк // Пакувальна індустрія України (стан та перспективи) : Матеріали III науково-практичної конференції (Алушта, 19-21 травня 2009 р.). — Додаток до часопису «Упаковка». — 2009. — № 3. — С. 86—94.
4. Г. Л. Рябцев. Наноматериалы и нанотехнологии в упаковке : удачный маркетинговый ход или весомое преимущество / Г. Л. Рябцев, И. О. Микуленок // Пакувальна індустрія України (стан та перспективи) : Матеріали III науково-практичної конференції (Алушта, 19-21 травня 2009 р.). — Додаток до часопису «Упаковка». — 2009. — № 3. — С. 55—69.
5. Издательский дом «Реал пресс». Значение перспективных нанотехнологий для пищевых продуктов и их упаковки [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.real-press.com/article.php?aid=237>.
6. М. Рыбалкина. Нанотехнологии для всех. Большое в малом [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.mntc.ru/nano_book.pdf.
7. S. V. Sreenivasan. Nanotechnology small print [Электронный ресурс] / S. V. Sreenivasan, C. Grant Willson, D. J. Resnick // Mechanical Engineering. — 2004. Режим доступа до журн. : <http://www.memagazine.org>.
8. Каралловый клуб. Из истории нанотехнологий [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://colo-vada.coral-club.name/2009/11/iz-istorii-nanotekhnologii/>.
9. О. Швидкий. Нанотехнології : на вістрі науково-технічного прогресу [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://h.ua/story/70987/>.
10. В. Г. Удовичкий. О терминологии, стандартизации и классификации в области нанотехнологий и наноматериалов [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Phip/2008_3_4/08udoote.pdf.
11. Нанотехнологии : инвесторов стимулируют будущие применения [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.metodolog.ru/01216/01216.html>.
12. Ежедельник 2000. Нанотехнология: что это такое? — 2009. — № 34(473). — 21-27 августа [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.2000.net.ua/print?a=%2Fc%2F63818>.
13. О. Гулинкина. Нанотехнологии в упаковочной отрасли (часть 1-я) [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://article.unipack.ru/20762/>.
14. Нанотехнології штовхають світ до революції [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.universum.org.ua/sp/2003/nano_2.html.
15. Сідненко М. В. Нанотехнології як пріоритетний напрямок державної інвестиційної політики [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://intkonf.org/sidnenko-mv-nanotekhnologiyi-yak-prioritetniy-napryamok-derzhavnoyi-investitsiynoi-politiki/>.
16. М. Азаров. Україна хотіла б співпрацювати з Росією в області нанотехнологій [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.rbc.ua/ukr/newsline/2007/09/27/244741>.
17. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://nanosvit.com/publ/10-1-0-402>.
18. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://nanosvit.com/publ/v_ukraine_budet_svoj_centra_nanostruktur/8-1-0-486.
19. Херох разработала новое поколение экономичных тонеров для лазерных принтеров [Электронный ресурс]. — Режим до-



ступу : <http://job4it.net/news/?p=761>. 20. Портал полиграфической индустрии [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.pечатnick.com/catalog/item.phtml?cid=156&id=3766>. 21. А. Семичев // Флексография. — 2008. — № 5 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.flexomag.ru/fsp/2008/05/5503877/>. 22. В. Артюхов. Новый подход к определению поверхностной адгезии [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2007/novyi-podkhod-k-opredeleniyu-poverkhnostnoi-adgezii>. 23. Ostrovskaya L. Yu. Wettability of ultrananocrystalline diamond and graphite nanowalls films: a comparison with the single crystal analogs / L. Yu. Ostrovskaya, V. M. Perevertailo, V. G. Ralchenko, A. P. Bolshakov, A. G. Saveliev, N. N. Dzbanovsky // Abstract Book, 2nd International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, NanoSMat. — 2007. — 9-11 July. — P. 18—19. 24. Нанотехнологии против подделок [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://gizmod.ru/2007/02/09/nanotekhnologii_protiv_poddelok/. 25. Гофротара. Нанотехнологиям в упаковке прогнозируют устойчивый рост [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.gofro-box.ru/stati/rfid2.php>. 26. В. Ф. Федоренко. Нанотехнологии для хранения агропродукции. — 2007 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://nanoagro.ru/pererabotka/nanotekhnologii-dlya-hranneni-agroproduksii.html>. 27. Санкт-Петербургский форум упаковки [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://charoid.ru/gorod/68_010/. 28. Нанотехнологии в производстве бумаги. — 2007 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.nanonewsnet.ru/news/2009/nanotekhnologii-v-proizvodstve-bumagi>. 29. Г. А. Негуляев, Г. С. Ненахов. Нанотехнологии: проблемы патентирования и экспертизы [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://ois.wl.dvgu.ru/abstrakt.php?table=interestingtext&patent=5>. 30. J. Youtie, P. Shapira, A. L. Porter. Nanotechnology publications and citations by leading countries and blocs [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.springerlink.com/content/l2j4x86844332t67/fulltext.pdf>.

Рецензент — В. В. Степанець,
к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 11.01.10