

УДК 612. 014.46

### ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПЕКИ ВПРОВАДЖЕННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У ПОЛІГРАФІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО

І. В. Огірко, М. Ф. Ясінський, Л. М. Ясінська-Дамрі, О. І. Огірко

*Українська академія друкарства,  
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна*

*З появою нанотехнологій виникли нові галузі: нанонаука, наноінженерія, наноелектроніка, нанохімія. Практичні розробки вже застосовано у сфері: поліграфії, електроніці, інформаційних технологіях, медичних технологіях, молекулярній біології, тощо. Наносвіт готовий забезпечити інноваційною сировиною найбільші підприємства світу. Розроблено текстиль, матеріали, папір, полімери і багато іншого. Бурхливий розвиток галузі нанотехнологій проник в поліграфічне виробництво з різноманітними поліграфічними матеріалами. Під час проектування поліграфічних виробництв необхідно враховувати ці новітні досягнення. Сьогодні проводяться дослідження з отримання наночастинок, впровадження їх у практичну діяльність, визначення потенційних ризиків та безпечності для здоров'я людини і довкілля. Аналіз сучасного стану і прогнозування використання наносистем і наноматеріалів у поліграфічній галузі для проектуванні поліграфічного підприємства є актуальною науковою проблемою аналізу і дослідження.*

**Ключові слова:** *інформаційні технології, нанотекст, наноматеріали, нанотоксичність, наночастинки металів, безпека здоров'я, безпека довкілля.*

**Вступ.** Предметом дослідження є вивчення та узагальнення даних літератури, аналіз результатів досліджень щодо характеристики наночастинок, методів їх отримання, сфер застосування та токсичних властивостей. Є дані щодо сфер застосування наночастинок металів та їхніх властивостей (фізико-хімічних, токсичних). Сполуки металів у вигляді наночастинок мають інші фізико-хімічні властивості порівняно з їхніми мікро- та іонними формами. Їхня токсичність залежить від таких характеристик, як розмір, структура, площа поверхні, вид металу, спосіб отримання, а також моделей, на яких проводяться дослідження. Проаналізовано застосування нанотехнологій у поліграфічному виробництві, зокрема проаналізовано дані, що стосуються використання наносистем і наноматеріалів у поліграфічній і пакувальних галузях. Зазначено важливу роль досягнень в галузі друкарської електроніки для сучасної мікро- і наноелектроніки. Широке впровадження нанотехнологій у сфери діяльності, перевершить досягнення людства, як комп'ютеризація, створення мережі Інтернет і мобільного зв'язку. Розвиток нанотехнологій та впровадження їхніх результатів у технічні науки буде зосереджено в майбутньому переважно на таких напрямках: Розроблення методів синтезу наноматеріалів та реєстрації

величини наночастинок. Створення нових наноматеріалів для промисловості, техніки та галузей поліграфії. Упровадження наноматеріалів в інформаційні технології, складовою частиною яких є і поліграфія, електроніку, комп'ютери-зацію виробництва та ін. [1-4]. Нанотехнологія є галузь науки, яка вивчає закономірності фізико-хімічних процесів у просторових ділянках нанометрових розмірів з метою управління окремими атомами, молекулами, молекулярними системами при створенні нових наноструктурованих матеріалів із спеціальними фізичними, хімічними і біологічними властивостями [2-6]. Наноматеріал — це матеріал природного або штучного походження, що містить частинки, понад 50% яких мають лінійний розмір у межах 1—100 нанометрів. Розмір таких частинок можна уявити, якщо взяти до уваги, що 1 нанометр — це довжина ланцюжка з 5—10 атомів, а діаметр людської волосини становить близько 80 000 нанометрів.

**Мета дослідження.** Наночастинка — частинка речовини довільної форми з розмірами від 1 до 100 нм. У нанотехнології частинкою називають невеликий об'єкт, що поводить як єдине тіло стосовно своїх транспортних та фізичних властивостей. Наночастинки за цією класифікацією теж саме, що ультрадріб-нодисперсні частинки, дрібнодисперсні частинки мають розміри від 100 до 2500 нм, а крупні — від 2500 до 10 тис. нм. Наночастинки є у миючих засобах, лаках, поверхнях, каталізаторах та автомобільних шинах, сонячних батареях та складових мікроелектроніки. Промисловості їх потрібно усе більше й більше. Через високу швидкість частинки не зіштовхуються одна з одною та не сплющуються. Електростатика не дає частинкам розчавитися. Вже є представлена класифікація наночастинок і наноматеріалів за їх розмірами, структурою, хімічним походженням, властивостями відповідно до системи ISO [4-9]. Проводяться дослідження з нанонауки та впровадження результатів нанотехнологій у практичну діяльність.

Великий інтерес до наночастинок продиктований тим, що вони є мостом між об'ємними матеріалами та атомними чи молекулярними структурами. Властивості об'ємної речовини не залежать від розмірів, але на нанорівні залежність від розмірів спостерігається нерідко. Коли розміри матеріалу досягають нанорівня змінюється відношення площі поверхні до об'єму. Для матеріалів, розміри яких перевищують мікрон, вплив поверхні незначний у порівнянні з об'ємом. Цікаві та часом несподівані властивості наночастинок значною мірою зумовлені збільшенням відносної ролі поверхні, яка починає домінувати над об'ємом. Наночастинки мають оптичні властивості, оскільки вони достатньо малі для локалізації своїх електронів, що зумовлює квантові ефекти. Суспензії наночастинок можливі тому, що їхня поверхня сильно взаємодіє з розчинником, щоб подолати різницю в густині, яка, інакше, призвела б або до опускання матеріалу на дно або спливання на поверхню. Велика площа поверхні порівняно з об'ємом забезпечує значну дифузію наночастинок, особливо при підвищених температурах. Наночастинки використовуються в продуктах широкого вжитку, надаючи їм нових властивостей. Наночастинки

оксидів, уведені в полімерну матрицю, зміцнюють її, що призводить до утворення міцніших пластмас, що можна підтвердити збільшенням температури склування та різними механічними тестами. Твердість наночастинок частково передається полімеру. Наночастинки вводять також у текстильні волокна з метою створення функціонального одягу. Виготовляються напівтверді та м'які наночастишки.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** Актуальність аналітичного огляду і прогнозування використання нанотехнологій у поліграфії підтверджується низкою публікацій [2-7]. Вагомою причиною вибору такої теми роботи є зацікавлення нанотехнологіями як методом створення нових корисних властивостей матеріалів і продуктів. Нові високотехнологічні матеріали із властивостями, що не були доступні, надає нанотехнологія. А створені на основі знань про наночастишки і наноутворення технології нині є одним із найперспективніших напрямів. Самі наночастишки і створені з них наноматеріали проявляють якості, абсолютно не властиві традиційним матеріалам. У матеріалах, що складаються із наночастинок, можуть різко відрізнитися електро- і теплопровідність, міцність, жорсткість, пружність та інші характеристики такі, як проникненість до різних середовищ і хімічних з'єднань. Це надає можливість для створення нових матеріалів поліграфії.

Метою роботи є ознайомлення із здобутками нанонауки, функціональними можливостями нанооб'єктів у сфері поліграфії, проведення аналізу сучасного стану і прогнозування використання наносистем і наноматеріалів у поліграфічному виробництві. Світовий ринок нанотехнологій у найближчі 10 років на 20% переважить ринок електроніки і удвічі пережене медичний ринок [15-25]. У цій літературі відображені результати фундаментальних і прикладних медико-біологічних досліджень з визначення потенційних ризиків та безпечності наноматеріалів, сформувалися нові наукові розділи. Найбільш перспективними є наночастишки металів [22-30], які можуть бути використані, стимулятори в біотехнологічних виробництвах. Широке впровадження наноматеріалів, а отже і більш тісний контакт з живих організмів, у тому числі людини, супроводжуються відсутністю ґрунтовних знань про можливий негативний вплив наноматеріалів на біологічні системи різних рівнів організації. Питання біологічної безпеки наноматеріалів неоднозначне, багатогранне та вимагає комплексного науково-обґрунтованого підходу [23-32]. Прогрес у виробництві та використанні наноматеріалів повинен супроводжуватися дослідженнями та оцінкою можливих санітарних чи екологічних ризиків, пов'язаних з нанотехнологіями. Дослідження потенційних ризиків використання наноматеріалів може бути адекватним за використання ключових системних характеристик живого організму (фізіологічних, біохімічних, імунологічних, генетичних тощо), які чутливі до негативної дії фактору. Мета дослідження полягала у вивченні взаємодії наночастинок металів з живими системами різного рівня організації та оцінці потенційних ризиків використання таких наночастинок з метою широкого впровадження біоактивних та біобезпечних наноматеріалів.

**Об'єкт і методи дослідження.** Одним з важливих завдань є вивчення питання щодо потенційних ризиків шкідливого впливу нанотехнологій та наноматеріалів на людину й навколишнє природне середовище [6-12]. В багатьох науково-дослідних установах не тільки синтезують наночастинки, а й проводять дослідження з визначення їхньої токсичності та біобезпечності [5- 8].

**Мета дослідження** – вивчення та узагальнення даних світової й вітчизняної літератури стосовно наночастинок, методів їх отримання, застосування та характеристики властивостей. Способи отримання наночастинок металів та утворені ними нанокластери є одними з перших об'єктів нанотехнології, для отримання яких використовують фізичні та хімічні методи [10-19]. Фізичні методи використовуються для одержання металевих ультрадисперсних частинок, є диспергаційно-конденсаційними. Аерозольний метод полягає у випаровуванні металу в розрідженій атмосфері інертного газу при зниженій температурі з наступною конденсацією парів. Розмір частинок визначається умовами конденсації і може змінюватися від кількох до сотень нанометрів. З розвитком експериментальних досліджень удосконалюються не тільки традиційні способи, а й з'являються принципово нові, що дозволяють отримати НЧ, стабільні в часі та розподілені за розміром. Найперспективнішими сьогодні визнано абляційні нанотехнології та винесення речовини з поверхні твердого тіла під впливом випромінювання й потоку гарячого газу. До цих методів відносяться: лазерна, електроімпульсна, плазменна, електродугова, електроіскрова, ультразвукова абляції. За своїми властивостями існуючі нанометали розподіляють на ті, що мають біоцидні, електричні, каталітичні та магнітні властивості. Специфічні властивості нанометалів відкривають широкі можливості для їхнього практичного застосування в багатьох галузях науки та промисловості, зокрема, при створенні нових ефективних каталізаторів для нафтохімічної промисловості, в охороні довкілля тощо [2-20]. Також НЧ металів можуть бути використані для отримання модифікованих рідинофазних і твердих матеріалів безпосередньо у вигляді міцелярного або водного розчинів. Для модифікації твердих матеріалів НЧ металів наносять шляхом адсорбції на різні тверді підкладки (скло, кераміка, тканини, вуглецеві матеріали, силікагель й ін.). Можливе також створення полімерних матеріалів шляхом введення НЧ металів у розчин на одній з проміжних стадій у процесі отримання полімеру [2- 12]. Фізико-хімічні властивості наночастинок металів займають проміжне положення між окремими атомами й молекулами, їм присутні принципово інші порівняно з макросвітом фізичні та хімічні властивості, специфіка яких визначається відповідними законами квантової фізики [2- 8]: – велика питома поверхня; – малі розміри та різноманітність форм; – збільшення хімічного потенціалу речовини; – висока адсорбційна активність; – висока здатність до акумуляції. Синтезовані фізичним чи хімічним способом НЧ металів також мають комплекс фізико-хімічних властивостей, які часто радикально відрізняються від тієї самої речовини у формі суцільних фаз або макроскопічних дисперсій. Унікальні фізико-хімічні властивості НЧ металів обумовлюють особливості їхньої біологічної дії. Підвищення хімічного по-

тенціалу речовини спричиняє суттєві зміни розчинності, реакційної та каталітичної здатності НЧ металів з можливим збільшенням продукції вільних радикалів й активних форм кисню та подальшим пошкодженням біологічних структур. Висока здатність НЧ металів до акумуляції пов'язана з тим, що вони гідрофобні чи мають електричний заряд – це призводить до накопичення їх у рослинних і тваринних організмах, а також у мікроорганізмах з передачею по харчових ланцюжках, тим самим збільшуючи надходження до організму людини. Суттєві відмінності фізико-хімічних властивостей та поведінки НЧ металів створюють проблеми щодо прогнозування їхньої міграції в довкіллі, зокрема, накопиченні в об'єктах навколишнього середовища (вода, ґрунт) та подальшого впливу на організм людини [8-12]. Фізико-хімічні властивості, такі як, малий розмір, велика площа поверхні, заряд, структура, різноманітність форм не тільки відкривають нові перспективи для виготовлення нових матеріалів і застосування їх у різних галузях поліграфії, але й створюють нові ризики для людини та довкілля. Проблема токсичності та біобезпеки вільних (незв'язаних) НЧ металів, їхніх колоїдних розчинів є однією з найважливіших в сучасній токсикології [7- 10]. Вважається, що основними шляхами надходження НЧ, у тому числі й металів до людського організму є інгаляційний (з повітрям), пероральний (з їжею та водою), транскутанний (через шкіру). Потрапляючи з повітрям у вигляді аерозолі, частинки нанометрових розмірів легко проникають у внутрішньолегеневий простір, вільно поступають із легенів у кровотік, і, таким чином, можуть транспортуватися в різні системи й органи. Проте вони здатні більше осідати в носі, ротовій порожнині або легенях. НЧ металів здатні проходити крізь звичайні захисні бар'єри: шлунковий, плацентарний, гемато-енцефалітичний, а також можуть розповсюджуватися по ходу відростків нервових клітин, кровоносних і лімфатичних судин. При цьому НЧ вибірково накопичуються в різних типах клітин і в певних клітинних структурах, що і обумовлює їхній пошкоджуючий вплив [2- 8]. Нанорозмірне срібло вбиває переважно більшість відомих патогенних бактерій та грибків і є більш активним, ніж сучасні антибіотики. Завдяки цим властивостям наносрібло як дезінфектант використовується в медицині, харчовій промисловості тощо [12-14]. Дослідження гострої токсичності показало, що НЧ оксиду заліза проявляли токсичну дію в дозах, що перевищують 400 мг/кг. При вивченні хронічної токсичності цього препарату виявлено збільшення активності ферментів АЛАТ і АсАТ у крові, асоційованих з цитоморфологічними змінами в печінці. Встановлено, що основним механізмом токсичної дії НЧ виявилася індукція активних форм кисню, реактивність залежала не лише від розмірів частинок, але й від того, якою структурою був представлений  $TiO_2$ , – кристалічною чи аморфною. Досліджено, що токсичні властивості мають НЧ алюмінію, які здатні пригнічувати синтез м-РНК, викликати проліферацію клітин, індукувати проатерогенне запалення, порушення функцій мітохондрій [3-11]. Своїми дослідженнями з вивчення фізичних, фізико-хімічних, біохімічних основ нанонауки відомі інститути НАН України. Українія нанотехнологіям приділяється з кожним роком. Можна виділити найпер-

спективніші області застосування українських нанотехнологій – електроніка і матеріалознавство. Україна може розпочати підготовку фахівців з нанотехнологій. Впровадження нанотехнологій у суміжні з поліграфією галузі, такі як виробництво паперів, полімерних матеріалів, лакофарбових композицій дають підстави вважати, що здобутки нанонаук зможуть бути реалізовані в інформаційних і зокрема нових друкарсько-комунікативних технологіях. За прогнозами, розвиток нанотехнологій у поліграфії через 5 років дасть змогу створити нову галузь [8, 9]. На сучасному етапі із застосуванням нанотехнологій розроблено велику кількість ноу-хау у поліграфічному та пакувальному виробництві. З'явився нанодрук. Фахівці оголосили про створення нової технології друку з використанням наночастинок. Дослідники використали частинки діаметром 60 нанометрів – приблизно в 100 разів менші за людський еритроцит – і змогли надрукувати растрове зображення із роздільною здатністю в одну наночастинку, що у перспективі дасть змогу створювати різноманітні наношаблони у діапазоні від простих ліній до складних схем. Високоточна технологія друку дає змогу ставити наномітки на банкноти та цінні папери. Одна компанія представила технологію друку «нанотекст» для нанесення мікроскопічного тексту на голографічні зображення. Голографічний друк «нанотекст» використовує електронні промені для нанесення символів, у 30 разів менших, ніж це можливо за допомогою технології «мікротекст». З розділенням приблизно 100 нанометрів тепер стало можливим друкувати понад 20 голографічних символів на просторі завширшки в людський волос. Голограми давно почали використовувати як ефективний метод для запобігання фальсифікації різних речей, починаючи з цінних паперів і закінчуючи кредитними картками і розкішними марочними товарами [11-16]. Новий надтонкий емульсійний тонер розробили інженери Дослідного центру в Канаді (Xerox Research Centre Canada –XRCC). Одержувати частки тонера строго заданого розміру і форми, забезпечуючи чіткі зображення і високу надійність друку, дозволяє технологія емульсивної агрегації. Технологія емульсивної агрегації ґрунтується на нанотехнологічних розробках. Вона дає змогу формувати частки необхідного розміру з мінімальним відхиленням, що потрібно для отримання високої якості кольорового друку. Поведінка частинок EA-тонера, малих за розміром і однорідних за складом, є більш передбачуваною, ніж часток у складі звичайного тонера, виготовленого за традиційною технологією механічної пульверизації пластикових частинок. Крім того, новий тонер менш енергоємний. Xerox випустили понад 50 пристроїв, які застосовують нову розробку. Тепер в продуктах, які виготовлятимуться - високопродуктивні багатофункціональні офісні пристрої, настільні принтери, а також машини, призначені для професійного кольорового друку, планується застосовувати нову технологію [12-17]. Широко представлені на ринку нанопорошкові технології. Фірма УралДиал представила нанорозмірні оксиди титану, що мають добру прозорість і відмінну здатність до поглинання ультрафіолетового випромінювання у довгохвильовому(UVA) і середньохвильовому (UVB) діапазонах, на відміну від звичайного діоксиду титану [1-3]. Нанооксид титану нерозчинний у

воді, органічних кислотах, слабких неорганічних кислотах. Його можна застосовувати в матеріалах для захисту від ультрафіолетового випромінювання, хімічних волокон, друкарських фарбах, а також як наповнювач у полімерних матеріалах, в пакувальних матеріалах для харчових продуктів та для захисту цінних паперів. Наноматеріали перспективні для формування структурованих покриттів, зокрема і полімерних наповнених. Нанодисперсії, що містять оксиди цинку і срібла, оксиди індію, стихію та олова, використовуються фірмою «Air Products» для виробництва покриттів, фарб, адгезивів та композиційних матеріалів [4-8]. Враховуючи те, що ці речовини, зокрема оксиди індію та олова, здатні надавати електроактивних властивостей, можна вважати ці покриття і фарби функціональними елементами пристроїв. Нанорозмірні наповнювачі вводили італійські дослідники у порошкові фарби для утворення антикорозійних покриттів на сталі, алюмінії та його сплавах, міді та його сплавах тощо. Цей підхід можна застосовувати для надання порошковим фарбам ксерографічних технологій нових властивостей, зокрема низькотемпературного або фотохімічного закріплення порошкового зображення на фарбовідбитку копіювальних апаратів і цифрових друкарських машин. Провідні фірми-виробники лакофарбових матеріалів організують спеціальні підрозділи для впровадження нанотехнологій і створення нових фарбових систем серії «Nanosulate gQ». Використання їх для оздоблення підвищило експлуатаційні та технологічні властивості знизило вміст легких органічних розчинників [4-7]. Для технологій глибокого, флексографічного або трафаретного друку такі результати є бажаними і актуальними. Важливим є використання нанотехнологій у виробництві валів для друкарських машин. 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 і тим самим підвищує ефективність друкарського устаткування. Оболонка Lototec не дає хімікатам змоги проникати всередину гумового шару, з якого зроблено зволожуючий валик. Це значно покращує процес миття валиків і дає економію мийних засобів; практично їх потрібна незначна кількість. Циліндр з оболонкою Lototec достатньо протерти, щоб очистити поверхню. Технологія Werodamp LT також ефективно захищає циліндр від емульсії фарба-вода, яка робить на нього деструктивний вплив [1-4]. 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 до підвищеної якості друку – сповільнений знос, менша кількість металеві крихти, знижене тертя і не настільки сильні наслідки при утворенні подряпин. Компанія пропонує зносостійкі ножі ракелів з багатшаровим

покриттям, твердішим і не таким пластичним, як сталева основа. З розвитком нанотехнологій функціональних покриттів стане більше [4-15]. Розроблено надтверді наноалмазні композити інструментального призначення. Отримання полікристалів і композитів на основі алмазних порошків з твердістю за Віккерсом HV понад 50 ГПа має велике практичне значення. За цією технологією можна спікати композити нанопорошків алмазу, які можуть успішно конкурувати з однокристальним алмазним інструментом із природних алмазів. Її можна застосовувати для виготовлення ріжучого, деформуєчого або вимірювального інструменту багаторазового використання [1-6]. Використання нанотехнологій у виробництві паперу має історію. Систему із застосуванням технології наночастинок у паперовій галузі визначено понад 20 років з метою покращити формування паперового полотна. Зараз ця технологія поступово перетворюється на систему управління якісними показниками паперу як в процесі самого паперового виробництва, так і в процесі подальшої переробки паперу в готові вироби і в поліграфії. Велику роботу з використання наночастинок проводить фірма Imerys (США), яка поставляє хімікати для целюлозно-паперової промисловості. Працює над створенням багатошарового покриття паперового полотна з наданням кожному шару індивідуальних властивостей. Використовуючи пігменти на основі наночастинок, фірма Imerys покращила такі показники паперового полотна, як пухкість, жорсткість, коефіцієнт світлорозсіювання і непрозорість. Стабільніших показників блиску друкарських відбитків досягли з використанням бразильського каоліну внаслідок збільшення пористості покривного шару і оптимізації швидкості закріплення друкарської фарби [1-7]. Основою папероробної галузі є покращення та урізноманітнення властивостей целюлози – досягнуто завдяки успіхам нанотехнологій. Створили папір, міцність якого на розрив перевищує міцність сталі, вдалося завдяки спільним зусиллям вчених зі Швеції та Японії. Для отримання паперу використовували інгредієнти, які застосовуються для виробництва звичайного паперу, деревну целюлозу. Шведи навчилися розщеплювати структуру деревини за допомогою ферментної й механічної обробки. У результаті довжина й товщина волокон залишаються незмінною. Відтоді проводять експериментальні дослідження щодо застосування винайденого матеріалу. Технологічний університет Сіднея (UTC) представив тип графенового нанопаперу, в 10 разів міцнішого за сталевий аркуш аналогічної товщини [1-8]. Нанопапір складається з виробленого і спеціальним чином спресованого графіту. За рахунок надщільного розміщення атомів речовини матеріал отримує феноменальну міцність. Для отримання графенового паперу звичайний графіт подрібнюють, очищають, використовуючи спеціальну хімічну ванну, що перебудовує атомну структуру графіту, і пресують графенові шари на тонкі аркуші. За словами австралійських розробників, отриманий нанопапір має виняткову температурну й електричну провідність, а також незвичайні механічні властивості – міцність й одночасно гнучкість. Китайським вченим вдалося виявити ще одну властивість графену – антибактеріальну. На основі оксиду графену вчені створили антибактеріальний папір. Під час експерименту на



аркушах цього паперу спробували виростити бактерії та клітини людського організму. Бактерії виростити не вдалося, оскільки вони втрачали здатність до розмноження, а ось клітини людини залишались здоровими. Стало відомо, що створений папір здатний боротися з хворобливими бактеріями. Винахідники вважають, що антибактеріальний папір можна безпечно використовувати для виробництва антибактеріальних бинтів, пакування для продуктів і т.д. Нанопапір з міцнісними характеристиками та антибактеріальними властивостями може знайти застосування і в банкнотному виробництві. Дослідники університету Арканзаса (University of Arkansas) розробили папір з нановолокна. І хоча його так само можна складати, м'яти, різати, решта властивостей мало нагадує про звичний целюлозний продукт. Використовуючи метод гідротермального нагрівання, 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. Проведені випробування паперу дозволили окреслити можливу область його застосування. Папір можна використовувати у військовому обмундируванні як вогнетривкий матеріал, для фільтрації рідин, для дозування лікарських препаратів і навіть для розкладання небезпечних речовин – від звичайних забруднювачів середовища до хімічної зброї [1-9]. В целюлозно-паперовій промисловості вестимуться в галузі нових виробничих стратегій, нанотехнологій, наноматеріалів. Нанотехнології допоможуть зробити робочі поверхні папероробних машин чистішими, поліпшать взаємодію між друкарськими фарбами і папером, скоротять використання хімікатів. Цілком можливо, що результати досліджень додатково стимулюватимуть розвиток пакування з «розумних» матеріалів – паперу і картону. Упаковка інформуватиме споживача про термін придатності, а виробники з її допомогою зможуть стежити за транспортуванням і станом продукції. Нанотехнології охоплюють багато ланок у поліграфії. Вони відіграють також значну роль у розвитку пакувальної індустрії. Очікується зростання в області нанотехнологій у пакувальній галузі. Використання нанотехнологій в галузі харчових пакувань гарантує кращі механічні, бар'єрні та антимікробні властивості, а також впровадження датчиків стеження і моніторингу за продуктами під час перевезення і зберігання. Нанокompозити застосовують для посилення бар'єрних властивостей пакувальних матеріалів. Полімерні плівки металізують за допомогою алюмінію як бар'єри для газу і світла вже протягом десятиліть. Наночастинки таких оксидів, як  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $Al_2O_3$  вводять до складу полімерних плівок з метою гальмування їхнього фотолітичного розкладу. Деякі наночастинки, наприклад, наносрібло, завдяки біоцидним і біостатичним властивостям наносять на поверхню плівок. Найперспективнішим є застосування нанотехнологій у пакувальних матеріалах, здатних розкладатись біологічним шляхом. Біонанокompозити – гібридні наноструктуровані матеріали з поліпшеними механічними, термічними і бар'єрними властивостями. Застосування таких наноматеріалів не тільки сприяє збереженню харчових продуктів і подовженню терміну їх придатності, але й захищає

навколишнє середовище шляхом заміни полімерних пластикових матеріалів. Три типи сполук використовують для отримання біонаноккомпозитів: 1) природний полімер (крохмаль, целюлоза, полімолочна кислота, желатин, колаген, хітозан; 2) неорганічні глини (монтморилоніт, клоїзит); 3) пластифікатор (гліцерин, рослинні олії, триетилцитрат). Із розвитком нанотехнологій ефективних пакувань з'являються їх нові функціональні властивості, такі як антимикробіологічна активність пакувальних матеріалів, здатних розкладатись біологічним шляхом [2-10]. Наноматеріали використовують в активному пакуванні, яке передбачає поглинання або сприяння утворенню певних хімічних сполук. Так, як кисневі пастки застосовують наночастинки металів заліза та їх оксидів, полімерні смоли, здатні до швидкого окиснення, а також низькомолекулярні органічні сполуки, такі як аскорбінова кислота. Нанотехнології є важливими у так званому «розумному пакуванні», метою якого є контроль за якістю упакованих продуктів. Воно ґрунтується на здатності індикаторних наносполук реагувати з хімічними речовинами, які утворюються внаслідок окиснення чи мікробіологічного псування харчових продуктів. Важливим питанням, пов'язаним із впровадженням наноматеріалів у виробництво, є дослідження можливого потенційно негативного впливу наночастинок на організм людей, навколишнє природне середовище. Це вимагає досліджень із вивчення фізіологічних, біохімічних і біофізичних механізмів дії наночастинок на різні органи і системи організму людини і зовнішнє середовище з метою запобігання таким впливам.

**Висновок.** Аналіз розвитку, що привів до становлення нанотехнологій, показує, що цей напрямок визначатиме технологічний прогрес у багатьох сферах людської діяльності. Проектування нових виробництв друкарсько-пакувальної галузі повинно враховувати новітні досягнення. Наночастинки металів, які отримують фізичним та хімічним методами, мають інші фізикохімічні властивості порівняно з їхніми мікрота іонними формами. Токсичні властивості наночастинок металів значною мірою залежать від фізичної природи, способу отримання, розмірів, структури нанокластерів, а також моделі, на якій проводяться випробування. Вони здатні індукувати активні форми кисню, порушувати мембранні структури, проникати через тканинні бар'єри, надходити в клітини і взаємодіяти з внутрішньоклітинними компонентами. Питання дослідження токсичності наночастинок металів й інших наноматеріалів неоднозначне й багатогранне, вимагає комплексного підходу, розробки та впровадження стандартизованих методик для експериментів з метою встановлення чітких критеріїв безпечності цих нових об'єктів для людини та довкілля. Нанотехнології знаходяться на передньому краю різноманітних наукових напрямів розвитку. Нанонаука вивчає фізичні, хімічні, біологічні, фармакологічні, токсикологічні властивості наночастинок розміром до 100 нм. Наукова праця спонукатиме вчених-фахівців екологічного, природоресурсного та інших галузей права до плідної дискусії з питань, що стосуються правових засад функціонування, юридичної відповідальності за порушення екологічного законодавства, безпеки людини в навколишньому природному середовищі та вирішення за-

дачі створення інформаційної технології оцінювання безпеки життя людини з врахуванням ризику ситуацій.

### Список використаних джерел

1. Балабанов В. И. Нанотехнологии / В. И. Балабанов // Наука будущего.– М.: Эксмо, 2009.– С. 215–220.
2. Шерстюк В. П., Гуменюк О. В.. Нанотехнології та друкарство // Технологія і техніка друкарства. – 2008, №3-4. – С.63-73.
3. О. Гулинкина. Нанотехнологии в упаковочной отрасли (часть 1-я) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://article.unipack.ru/20762/>.
4. Васютіна В., Шерстюк В. П. Проблеми друкарської та пакувальної галузі у світлі досягнень нанотехнологій // Технологія і техніка друкарства. – 2010. – №1(27). – С.65-82.
5. Нанотехнологии против подделок [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://gizmod.ru/2007/02/09/nanotexnologii-protiv-poddelok/>.
6. Нанотехнологии от XEROX [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rechatnick.com/analitika/articles/index.phtml?id=948>. 7. Порошковая металлургия [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rosfirm.ru/poroshkovayametallurgiya-1704>.
8. Блишунцова О.И., Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Блинова Л.А. Использование элементов нанотехнологии в управлении качеством бумаги // Мат.-ли Междунар. научно-практ. конф. «Химия в ЦБП». – 2009. – № 6. – С.41–56.
9. Нанотехнології в пакувальній галузі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ipaket.ru/nanotexnologiji-v-pakovalnij-galuzi.html>.
10. Полумбрик М.О. Нанотехнології в харчових продуктах // НУХТ, «Харчова промисловість» 2011. – № 10–11. – С.319–322.
11. Чекман І. С. Наночастинки: властивості та перспективи застосування / І. С. Чекман // Укр. біохімічний журнал.– 2009.– Т. 81, № 1.– С. 122–129.
12. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) / І. С. Чекман, А. М. Сердюк, Ю. І. Кундієв, І. М. Трахтенберг [та ін.] // Довкілля та здоров'я.– 2009.– № 1 (48).– С. 3–7.
13. Картель М. Т. Концепція методології ідентифікації та токсикологічних досліджень наноматеріалів і оцінки ризику для людського організму та довкілля при їх виробництві і застосуванні / М. Т. Картель, В. П. Терещенко // Межвед. сборник научн. трудов «Химия, физика и технология поверхности».– Киев, Наукова думка, 2008.– Выпуск 14.– С. 565–583.
14. Проданчук Н. Г. Нанотоксикология: состояние и перспективы исследований / Н. Г. Проданчук, Г. М. Балан // Современные проблемы токсикологии.– 2009.– № 3–4.– С. 4–18.
15. Павлиго Т. М. Класифікація наноматеріалів у системі міжнародної стандартизації / Т. М. Павлиго, Г. Г. Сердюк / Наноструктурное материаловедение.– 2010.– № 4.– С. 92–99.
16. Андрусишина И. Н. Наночастицы металлов: способы получения, физико-химические свойства, методы исследования и оценка токсичности / И. Н. Андрусишина // Современные проблемы токсикологии.– 2011.– № 3.– С. 5–14.
17. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали / Волков С. В., Ковальчук С. П., Генко В. М., Решетняк О. В.– К.: Наукова думка, 2008.– 422 с.

18. Shahverdy A. R. Synthesis and effect of silver nanopracles on the antibacterial activity of different antibiotics against Staphylococcus and Escherichia coli / Shahverdy A. R., Fakhimi Ali, Minaian Sara // *Nanomedicine-Nanotechnology biology and medicine.*– 2007.– V. 3 (2).– P.168–171.
19. Braydich-Stolle L. Cytotoxicity of nanoparticles of silver in mammalian cells / L. Braydich-Stolle, S. Hussain, J. Schlager // *Toxicological Sciences.*– 2005.– V. 3, № 2.– P. 38–42.
20. Wijnhoven S. W. P. Nano-silver - a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment / Susan W. P. Wijnhoven, Willie J. G. M. Peijnenburg; Carla A. Herberts [et al.] // *Nanotoxicology.*– 2009.– V. 3, Iss. 2.– P. 109–138.
21. Сулейманова Л. В. Морфологические изменения органов и тканей экспериментальных животных при воздействии наночастиц золота / Л. В. Сулейманова // Автореф. на соиск. к. мед. н. 14.0015.– Саратов, 2009.– 24 с.
22. Коваленко Л. В. Биологически активные нанопорошки железа /Л. В. Коваленко, Г. Э. Фолманис.– М.: Наука, 2006.– 124 с.
23. Канцельсон Б. А. Экспериментальные данные к оценке пульмонотоксичности и резорбтивной токсичности частиц магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) нано- и микрометрового диапазона / Б. А. Канцельсон, Л. И. Привалова, С. В. Кузьмин [и др.] // *Токсикологический вестник.*– 2010.– № 2.– С.17–24.
24. Gao Lizeng. Intrinsic peroxidase-like activity of ferromagnetic nanoparticles / Lizeng Gao, Jie Zhuang, Leng Nie // *Nanotechnol.*– 2007.– V. 2, № 9.– P. 577–583.
25. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO<sub>2</sub> to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* / M. Heinlaan, A. Ivask, I. Blinov [et al.] // *Chemosphere.*– 2008.– V. 71 (7).– P. 1308–1316.
26. Chen Z. Acute toxicological affects of copper nanoparticles in vivo / Z. Chen, H. Meng, G. Hing // *Toxicology Letters.*– 2006.– V. 163.– P. 109–120.
27. Wang B. Acute toxicity of nano- and micro-scale zinc powder in healthy adult mice / B. Wang // *Toxicology Letters.*– 2006.– V. 161 (2).– P. 115–123.
28. Kang S. J. Titanium dioxide nanoparticles trigger p53-mediated damage response in peripheral blood lymphocytes / S. J. Kang // *Environmental Molecules Mutagens.*– 2008.– V. 49 (5).– P. 399–405.
29. Wang J. Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration / J. Wang, G. Zhou, C. Chen // *The journal of physical chemistry.*– 2007.– V. 168.– P. 176– 185.
29. Chen L. Manufactured aluminum oxide nanoparticles decrease expression of tight junction proteins in brain vasculature / L. Chen // *J. Neuroimmune Pharmacology.*– 2008.– V. 3 (4).– P. 286–295.
30. Hardman R. A toxicologic review of quantum dots: toxicity depends on physicochemical and environmental factors / R. A. Hardman // *Environ. Health Perspective.*– 2006.– V. 114 (2).– P. 165–172.
31. Korolenko T. Assessment of biological activity of Cu, Zn, Fe, Mg citrates, produced in nanotechnology by in vitro studies / T. Korolenko, N. Dmytrukha, M. Marchenko // *Book of abstracts Ukrainian-German symposium on physics and chemistry of nanostructures and on nanobiotechnology.*– Beregove, the Crimea, Ukraine. 6–10 September, 2010.– P. 257.
32. Марченко М. Л. Вивчення цитотоксичної дії наночастинок металів в культурі клітин людини в експериментах in vitro / М. Л. Марченко, Н. О. Безденежних, М. Фахмі // *Український журнал з проблем медицини праці.*– 2011.– № 1 (25).– С. 63–70.

## REFERENCES

1. Balabanov V. I. (2009). Nanotekhnologii / V. I. Balabanov // Nauka budushhego.– M.: Jeksno - S. 215–220. (in Russian)
2. Sherstiuk V. P., Humeniuk O. V. (2008). Nanotekhnologii ta drukarstvo // Tekhnologii i tekhnika drukarstva. –№3-4. – S.63-73. (in Ukrainian)
3. O. Gulinkina. Nanotekhnologii v upakovochnoj otrasli (chast' 1-ja) [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://article.unipack.ru/20762/>. (in Russian)
4. Vasiutina V., Sherstiuk V. P. (2010). Problemy drukarskoj ta pakuvalnoi haluzi u svitli dosiahnen nanotekhnologii // Tekhnologii i tekhnika drukarstva. — №1(27). – S.65-82. (in Ukrainian)
5. Nanotekhnologii protiv poddelok [Elektronnij resurs]. — Rezhim dostupu: <http://gizmod.ru/2007/02/09/nanotekhnologii-protiv-poddelok/>. (in Russian)
6. Nanotekhnologii ot XEROX [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://pechatnick.com/analitika/articles/index.phtml?id=948>. (in Russian)
7. Poroshkovaja metallurgija [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.rosfirm.ru/poroshkovayametallurgiya-1704>. (in Russian)
8. Blishunova O.I., Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Blinova L.A. (2009). Ispol'zovanie jelementov nanotekhnologii v upravlenii kachestvom bumagi // Mat.-li Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. «Himija v CBP». — № 6. – S.41–56. (in Russian)
9. Nanotekhnologii v pakuvalnij haluzi [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupu: <http://ipaket.ru/nanotekhnologii-v-pakuvalnij-galuzi.html>. (in Ukrainian)
10. Polumbryk M.O. (2011). Nanotekhnologii v kharchovykh produktakh // NUKhT, "Kharchova promyslovist"– № 10–11. – C.319–322. (in Ukrainian)
11. Chekman I. S. (2009). Nanochastynky: vlastyvoli ta perspektyvy zastosuvannia / I. S. Chekman // Ukr. biokhimičniy zhurnal.– T. 81, № 1.– S. 122–129. (in Ukrainian)
12. Nanotoksikologija: napriamky doslidzhen (ohliad) (2009). / I. S. Chekman, A. M. Serdiuk, Yu. I. Kundiiiev, I. M. Trakhtenberh [ta in.] // Dovkillia ta zdorovia.– № 1 (48).– S. 3–7. (in Ukrainian)
13. Kartel M. T. (2008). Kontseptsija metodologii identyfikatsii ta toksikologichnykh doslidzhen nanomaterialiv i otsinky ryzyku dlia liudskoho orhanizmu ta dovkillia pry yikh vyrobnytstvi i zastosuvanni / M. T. Kartel, V. P. Tereshchenko // Mezhd. sbornyk nauchn. trudov «Khymija, fizyka y tekhnologija poverkhnosti».– Kyev, Naukova dumka – Vypusk 14.– S. 565–583. (in Ukrainian)
14. Prodanchuk N. G. (2009). Nanotoksikologija: sostojanie i perspektivy issledovanij / N. G. Prodanchuk, G. M. Balan // Sovremennye problemy toksikologii.— № 3–4.– S. 4–18. (in Russian)
15. Pavlyho T. M. (2010). Klasyfikatsija nanomaterialiv u systemi mizhnarodnoi standartyzatsii / T. M. Pavlyho, H. H. Serdiuk / Nanostrukturnoe materjalovedenie.– № 4.– S. 92–99. (in Ukrainian)
16. Andrusishina I. N. (2011). Nanochasticy metallov: sposoby poluchenija, fiziko-himicheskie svoystva, metody issledovanija i ocenka toksichnosti / I. N. Andrusishina // Sovremennye problemy toksikologii.– № 3.– S. 5–14. (in Russian)
17. Nanokhimiia. Nanosystemy. Nanomaterialy (2008). / Volkov S. V., Kovalchuk S. P., Henko V. M., Reshetniak O. V.– K.: Naukova dumka– 422 s. (in Ukrainian)
18. Shahverdy A. R. (2007). Synthesis and effect of silver nanopraples on the antibacterial activity of different antibiotics against Staphylococcus and Escherichia

- coli / Shahverdy A. R., Fakhimi Ali, Minaian Sara // *Nanomedicine-Nanotechnology biology and medicine.*— V. 3 (2).— P.168–171. (in English)
19. Braydich-Stolle L. (2005). Cytotoxicity of nanoparticles of silver in mammalian cells / L. Braydich-Stolle, S. Hussain, J. Schlager // *Toxicological Sciences.*— V. 3, № 2.— P. 38–42. (in English)
20. Wijnhoven S. W. P. (2009). Nano-silver - a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment / Susan W. P. Wijnhoven, Willie J. G. M. Peijnenburg; Carla A. Herberts [et al.] // *Nanotoxicology.*— V. 3, Iss. 2.— P. 109–138. (in English)
21. Sulejmanova L. V. (2009). Morfologicheskie izmeneniya organov i tkanej jeksperimental'nyh zhivotnyh pri vozdejstvii nanochastic zolota / L. V. Sulejmanova // *Avtoref. na soisk. k. med. n. 14.0015.*— Saratov— 24 s. (in Russian)
22. Kovalenko L. V. (2006). Biologicheski aktivnye nanoporoshki zheleza /L. V. Kovalenko, G. Je. Folmanis.— M.: Nauka— 124 s. (in Russian)
23. Kancel'son B. A. (2010). Jeksperimental'nye dannye k ocenke pul'monotoksichnosti i rezorbtivnoj toksichnosti chastic magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nano- i mikrometrovogo diapazona /B. A. Kancel'son, L. I. Privalova, S. V. Kuz'min [i dr.]// *Toksikologicheskij vestnik*— № 2.— S.17–24. (in Russian)
24. Gao Lizeng. (2007). Intrinsic peroxidase-like activity of ferromagnetic nanoparticles / Lizeng Gao, Jie Zhuang, Leng Nie // *Nanotechnol.*— V. 2, № 9.— P. 577–583. (in English)
25. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO<sub>2</sub> to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia magna* and *Thamnocephalus platyurus* (2008). / M. Heinlaan, A. Ivask, I. Blinov [et al.] // *Chemosphere.*— V. 71 (7).— P. 1308–1316. (in English)
26. Chen Z. (2006). Acute toxicological affects of copper nanoparticles in vivo / Z. Chen, H. Meng, G. Hing // *Toxicology Letters.*— V. 163.— P. 109–120. (in English)
27. Wang B. (2006). Acute toxicity of nano- and micro-scale zinc powder in healthy adult mice / B. Wang // *Toxicology Letters.*— V. 161 (2).— P. 115–123. (in English)
28. Kang S. J. (2008). Titanium dioxide nanoparticles trigger p53-mediated damage response in peripheral blood lymphocytes / S. J. Kang // *Environmental Molecules Mutagens.*— V. 49 (5).— P. 399–405. 29. Wang J. (2007). Acute toxicity and biodistribution of different sized titanium dioxide particles in mice after oral administration / J. Wang, G. Zhou, C. Chen // *The journal of phisical chtmistry.*— V. 168.— P. 176– 185. (in English)
29. Chen L. (2008). Manufactured aluminum oxide nanoparticles decrease expression of tight junction proteins in brain vasculare /L. Chen// *J. Neuroimmune Pharmacology.*— V. 3 (4).— P. 286–295. (in English)
30. Hardman R. (2006). A toxicologic review of quantum dots: toxicity depends on physicochemical and environmental factors / R. A. Hardman // *Environ. Health Perspective.*— V. 114 (2).— P. 165–172. (in English)
31. Korolenko T. (2010). Assessment of biological activity of Cu, Zn, Fe, Mg citrates, produced in nanotechnology by in vitro studies / T. Korolenko, N. Dmytrukha, M. Marchenko // *Book of abstracts Ukrainian-German symposium on physics and chemistry of nanostructures and on nanobiotechnology.*— Beregove, the Crimea, Ukraine. 6–10 September— P. 257. (in English)
32. Marchenko M. L. (2011). Vyvchennia tsytotoksychnoi dii nanochastynok metaliv v kulturi klityn liudyny v eksperymentakh in vitro / M. L. Marchenko, N. O. Bezdieniezhykh, M. Fakhmi // *Ukrainskyi zhurnal z problem medytsyny pratsi.*— № 1 (25).— S. 63–70. (in Ukrainian)

DOI 10.32403/2411-9210-2020-2-44-119-133

## INFORMATION TECHNOLOGY OF SAFETY OF NANOTECHNOLOGIES INTRODUCTION INTO PRINTING PRODUCTION

I.V. Ohirko, M.F. Yasinsky, L.M. Yasinska-Damry, O.I. Ohirko

*Ukrainian Academy of Printing,  
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine  
ogirko@gmail.com*

*With the advent of nanotechnology, new industries have emerged: nanoscience, nanoengineering, nanoelectronics, nanochemistry. Practical developments have already been applied in the field of printing, electronics, information technology, medical technology, molecular biology, etc. Nanoworld is ready to provide innovative raw materials to the world's largest enterprises. Textiles, materials, paper, polymers and much more have been developed. The rapid development of the nanotechnology industry has penetrated into the printing industry with a variety of printing materials. These latest achievements must be taken into account when designing printing industries. Today, the research is being conducted on the production of nanoparticles, their implementation in practice, the identification of potential risks and safety for human health and the environment. The analysis of the current state and forecasting the use of nanosystems and nanomaterials in the printing industry for the design of a printing company is an urgent scientific problem of analysis and research.*

**Keywords:** *information technologies, nanotext, nanomaterials, nanotoxicity, metal nanoparticles, health safety, environmental safety.*

*Стаття надійшла до редакції 29.07.2020.*

*Received 29.07.2020.*