

Створення нанофотонних систем для друкованих новітніх харчових паковань

Создание нанофотонных систем для печатной новейшей пищевой упаковки

The creation of nanophotonic systems for printed smart food packaging

1. **Номер державної реєстрації теми – 0115U000361с, Науковий керівник –** к.т.н., доцент Морозов А.С., к.т.н., доцент Морозов А.С., Morozov Andriy S., PhD

2. **Суть розробки, основні результати.**

(укр.)

Розроблено нанофотонні системи і поліграфічні технології для виготовлення новітніх харчових паковань, які збільшують термін зберігання харчових продуктів без необхідності додаткової обробки і повідомляють про поточний стан запакованого продукту, тобто його придатність до вживання, шляхом зміни оптичних властивостей друкованого зображення (кольору, інтенсивності люмінесценції).

Розроблено рецептури модельних нанофотонних композицій, які призначені для виготовлення новітніх друкованих паковань, та визначені технологічні вимоги до їх складу для друкування маркувань з нанофотонними елементами на функціональних пакуваннях на основі нанокристалів ZnO з концентрацією 0,02 моль/л і полівініл-піролідону з молекулярною масою $M = 360000$ г/моль.

Досліджено фотофізичні властивості нанокомпозитів у присутності речовин, що утворюються в процесі зберігання харчових продуктів. Виявлено, що нано-ZnO зменшує інтенсивність люмінесценції при контакті з речовинами, які утворюються при псуванні білкових продуктів (аміни, етанол) і при зміні рН. Завдяки своїм антимікробним та УФ-бар'єрним властивостям, нано-ZnO може виконувати декілька функцій у пакуванні. Також досліджені інші органічні барвники, зокрема родамін, які також можуть слугувати індикаторами свіжості харчових продуктів.

Розроблено методики друкування та закріплення друкованих зображень з нанофотонними елементами з використанням сучасних друкарських методів та з урахуванням дизайнерських аспектів маркування новітніх паковань з нанофотонними елементами.

Визначено вплив властивостей задрукованого матеріалу (мікроструктури поверхні, пористості, білизни паперу, товщини полімерної плівки, шорсткості поверхні алюмінієвої фольги) на оптичні характеристики друкованих шарів. Встановлено, яким чином за допомогою зміни технологічних параметрів друкарського процесу (товщини нанесення шару, концентрації люмінесцентної складової в композиції, швидкості друкування) можна компенсувати неоптимальні значення показників задрукованого матеріалу з метою отримання запроєктованих оптичних характеристик друкованих шарів з нанофотонними елементами.

Досліджено процеси друкування нанофотонних елементів. Встановлено закономірності впливу технологічних параметрів друкарського процесу виготовлення маркувань з нанофотонними елементами на їхні оптичні характеристики (які характеризуються змінами інтенсивності і кольору люмінесценції під впливом технологічних параметрів), що дало можливість прогнозувати оптичні характеристики одержуваних друкованих функціональних паковань залежно від параметрів друкарського процесу.

Розроблено математичну модель впливу технологічних параметрів фіксування (температури і часу сушіння) друкованих відбитків з нанофотонними елементами на їхні оптичні характеристики (інтенсивність і колір люмінесценції) на основі рівняння регресії, що дало можливість прогнозувати оптичні характеристики одержуваних друкованих маркувань функціональних паковань залежно від параметрів фіксування. Визначено рекомендовані температуру (60°C) і час сушіння (4–15 с) для отримання найбільш можливої інтенсивності люмінесценції друкованих зображень з різною товщиною шару фарби на відбитку (2–100 мкм).

Розроблено математичну модель забезпечення оптичних характеристик друкованих відбитків з нанофотонними елементами, що враховує узгодження параметрів

технологічного процесу маркування друкованих функціональних паковань (формних і друкарських процесів) з оптичними характеристиками одержуваних друкованих елементів функціональних паковань. Це дозволяє виготовляти друковані функціональні пакування із наперед заданими оптичними характеристиками.

Розроблено методику розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів новітніх паковань із заданими фотолюмінесцентними характеристиками, яка описується створеними алгоритмами розрахунку.

З метою автоматизації технологічних розрахунків розроблено програмне забезпечення із розрахунку технологічних параметрів друкування зображень із змінними оптичними характеристиками, на яке отримано свідоцтво про авторське право, яке дозволяє здійснити прогнозування оптичних характеристик друкованих маркувань з нанофотонними елементами за відомими технологічними параметрами, і визначити технологічні параметри для отримання друкованих маркувань розумних паковань із заданими оптичними характеристиками.

(рос.)

Разработаны нанофотонные системы и полиграфические технологии для изготовления новейших пищевых упаковок, которые увеличивают срок хранения пищевых продуктов без необходимости дополнительной обработки и сообщают о текущем состоянии упакованного продукта, то есть о его пригодности к употреблению, путем изменения оптических свойств печатного изображения (цвета, интенсивности люминесценции).

Разработаны рецептуры модельных нанофотонных композиций, которые предназначены для изготовления новейших печатных упаковок, и определены технологические требования к их составу для нанесения маркировок с нанофотонными элементами на функциональную упаковку на основе нанокристаллов ZnO с концентрацией 0,02 моль/л и поливинилпирролидона с молекулярной массой $M = 360000$ г/моль.

Исследованы фотофизические свойства нанокомпозитов в присутствии веществ, образующихся в процессе хранения пищевых продуктов. Выявлено, что нано-ZnO уменьшает интенсивность люминесценции при контакте с веществами, которые образуются при порче белковых продуктов (амины, этанол) и при изменении pH. Благодаря своим антимикробным и УФ-барьерным свойствам, нано-ZnO может выполнять несколько функций в упаковке. Также исследованы другие органические красители, в частности родамин, которые также могут служить индикаторами свежести пищевых продуктов.

Разработаны методы печати и закрепления печатных изображений с нанофотонными элементами с использованием современных методов печати и с учетом дизайнерских аспектов маркировки новейших упаковок с нанофотонными элементами.

Определено влияние свойств запечатываемого материала (микроструктуры поверхности, пористости, белизны бумаги, толщины полимерной пленки, шероховатости поверхности алюминиевой фольги) на оптические характеристики печатных слоев. Установлено, каким образом с помощью изменения технологических параметров печатного процесса (толщины нанесения слоя, концентрации люминесцентной составляющей в композиции, скорости печати) можно компенсировать неоптимальные значения показателей запечатываемого материала с целью получения спроектированных оптических характеристик печатных слоев с нанофотонными элементами.

Исследованы процессы нанесения нанофотонных элементов. Установлены закономерности влияния технологических параметров печатного процесса изготовления маркировок с нанофотонными элементами на их оптические характеристики (которые характеризуются изменениями интенсивности и цвета люминесценции под воздействием технологических параметров), что дало возможность прогнозировать оптические характеристики получаемых печатных функциональных упаковок в зависимости от параметров печатного процесса.

Разработана математическая модель влияния технологических параметров сушки (температуры и времени сушки) печатных оттисков с нанофотонными элементами на их

оптические характеристики (интенсивность и цвет люминесценции) на основе уравнения регрессии, что дало возможность прогнозировать оптические характеристики получаемых печатных маркировок функциональных упаковок в зависимости от параметров сушки. Определены рекомендуемые температура (60°C) и время сушки (4–15 с) для получения наиболее возможной интенсивности люминесценции печатных изображений с разной толщиной слоя краски на оттиске (2–100 мкм).

Разработана математическая модель обеспечения оптических характеристик печатных оттисков с нанофотонными элементами, которая связывает параметры технологического процесса маркировки печатных функциональных упаковок (формных и печатных процессов) с оптическими характеристиками получаемых печатных элементов функциональных упаковок. Это позволяет изготавливать печатные функциональные упаковки с наперед заданными оптическими характеристиками.

Разработана методика расчета технологических параметров печати нанофотонных элементов новейших упаковок с заданными фотолюминесцентными характеристиками, которая описывается созданными алгоритмами расчета.

С целью автоматизации технологических расчетов разработано программное обеспечение по расчету технологических параметров печати изображений с переменными оптическими характеристиками, на которое получено свидетельство об авторском праве, которое позволяет прогнозировать оптические характеристики печатных маркировок с нанофотонными элементами по известным технологическим параметрам, и определить технологические параметры для получения печатных маркировок умных упаковок с заданными оптическими характеристиками.

(англ.)

Nanophotonic systems and printing technologies are developed to manufacture smart food packaging, which enhance shelf life of foods without the need for additional processing, and indicate the current state of a packaged product, i.e. its suitability for consumption, by changing the optical properties of a printed image (color, luminescence intensity).

Recipes are developed of model nanophotonic compositions intended for the manufacture of smart printed packaging, and the technological requirements are determined for their composition for printing labels with nanophotonic elements on functional packages based on ZnO nanocrystals with a concentration of 0.02 mol/L and polyvinyl pyrrolidone with a molecular weight $M = 360000$ g/mol.

Photophysical properties of the nanocomposites are investigated in the presence of substances that emerge in the process of storage of food products. It is determined that nano-ZnO reduces the luminescence intensity in contact with substances that emerge in spoilage process of protein foods (amines, ethanol) and the pH change. Due to its antimicrobial and UV barrier properties, nano-ZnO can perform several functions in packaging. Other organic dyes are also investigated, in particular rhodamine, which can also serve as indicators of food freshness.

Methods are developed of printing and the fixing of printed images with nanophotonic elements using modern printing techniques, and taking into account the design aspects of marking smart packaging with nanophotonic elements.

It is determined the influence of the properties a printed material (the surface microstructure, porosity, whiteness of paper, the thickness of the polymer film, the surface roughness of aluminum foil) on the optical characteristics of the printed layers. It is determined how changing technological parameters of the printing process (thickness of coating, concentration of the luminescent component in the composition, printing speed) can compensate for non-optimal values of a substrate with the aim of obtaining predetermined optical characteristics of printed layers with nanophotonic elements.

The processes of printing nanophotonic elements is investigated. The regularities are determined of the influence of technological parameters of the printing process of production of markings with nanophotonic elements on their optical properties (which are characterized by changes in the luminescence intensity and color under the influence of technological parameters), which allows to predict optical characteristics of the resulting printed functional packages depending on the parameters of the printing process.

The mathematical model is developed of the influence of technological parameters of drying (temperature and time of drying) of the printed impressions with nanophotonic elements on their optical characteristics (luminescence intensity and color) based on the regression equation, which provided the possibility to predict optical characteristics of the obtained markings of functional packaging, depending on the drying parameters. There is determined the recommended temperature (60°C) and drying time (4-15 sec) to obtain the most possible luminescence intensity of the printed images with different ink layer thickness on the printed impression (2-100 μm).

The mathematical model is developed to ensure the optical characteristics of printed impressions with nanophotonic elements, taking into account the parameters of the technological process of marking printed functional packages (prepress and printing processes) with optical characteristics of the resulting printed elements of functional packages. This allows producing printed functional smart packaging with predetermined optical characteristics.

The method is developed for calculation of technological parameters of printing of nanophotonic elements for smart packaging with predetermined photoluminescent characteristics, which is described by the created algorithms.

With the purpose of automation of technological calculations the software is developed for calculation of technological parameters of printing images with variable optical characteristics, a certificate of copyright for which is obtained; it allows prediction of the optical characteristics of printed markings with nanophotonic elements by the known technological parameters, and determination of the process parameters of obtaining markings for smart packaging with the predetermined optical characteristics.

3. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент 98759 України, МПК (2014.01) C09D 5/22, B41M 3/00, B01D 1/00. Спосіб друкування нанофотонних елементів активних і розумних пакувань // О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк. – № u201411339; заявл. 17.10.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. №9. – 4 с.

2. Патент 97453 України, МПК (2014.01) C09D 5/22, B41M 3/00, B01D 1/00. Спосіб закріплення друкованих нанофотонних елементів активних і розумних пакувань // О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк. – № u201411807; заявл. 31.10.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. №5. – 4 с.

3. Патент 102865 України, МПК (2015.01) C09D 5/22, B41M 1/00, D21H 21/30, D21H 27/10. Спосіб отримання люмінесцентного покриття на основі наночастинок карбону і полівінілпіролідону для виготовлення друкованих нанофотонних елементів новітніх пакувань / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк, В. В. Швалагін. – № u201504464; заявл. 07.05.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. №22. – 3 с.

4. Патент 102866 України, МПК (2015.01) C09D 5/22, B41M 1/00. Спосіб отримання люмінесцентного покриття на основі нанокластерів срібла і полівінілпіролідону для виготовлення друкованих нанофотонних елементів новітніх пакувань / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк, В. В. Швалагін. – № u201504465; заявл. 07.05.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. №22. – 3 с.

5. Патент 103109 України, МПК (2015.01) B41M 3/00, B41N 1/00, C09D 5/22, Спосіб виготовлення нанофотонних елементів новітніх пакувань тампонним способом друку / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк. – № u201502128; заявл. 10.03.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. №23. – 5 с.

6. Патент 110741 України, МПК (2016.01) C09D 5/22, B41N 1/00, B41 M 3/00 Спосіб виготовлення друкованого елемента прихованого захисту з використанням нанофотонних композицій для конвертів для цінних паперів, цінних паперів і пакувань / О. О. Гриценко, О. Д. Задорожна. – № u201602735; заявл. 18.03.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20. – 5 с.

4. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають і перевищують світовий рівень, а розроблені рецептури модельних наноконпозицій та програмне забезпечення із розрахунку технологічних параметрів, запропонованих методів нанесення маркувань з нанофотонними елементами,

для отримання друкованих маркувань із заданими оптичними характеристиками зображень не мають аналогів у світовій практиці виготовлення «розумних» паковань. Існують світові аналоги розроблюваної технології виготовлення нанофотонних елементів новітніх паковань, проте вони не містять фотолюмінесцентних функціональних елементів на пакованні. Термін придатності готового неактивованого функціонального елемента і у світових аналогів, і у нанофотонних елементів, що будуть виготовлятися за розроблюваною в результаті НДР технологією, складає 1 рік. І у світових аналогів, і у нанофотонних елементах, що будуть виготовлятися за розробленою технологією, є можливість візуальної та апаратної реєстрації змін складу запакованого продукту. Проте у світових аналогів відсутня або частково наявна можливість інтеграції у логістичні системи, тоді як нанофотонні елементи новітніх паковань, що будуть виготовлятися за розроблюваною технологією, можна буде інтегрувати у логістичні системи.

Основні переваги отриманих результатів:

- нижча ціна (на 30-90%) порівняно із конкурентами (виробники з країн Європи, США);
- додаткова можливість використовувати індикатор також для захисту від підробки, оскільки в конкурентів відсутні люмінесцентні властивості;
- більша універсальність індикатора – можливість його підлаштування під різні типи продукції.

5. Економічна привабливість для просування на ринок

Результати НДР можна використовувати в харчовій і пакувальній індустрії. Рекомендується застосування результатів НДР для виготовлення поліграфічно оформлюваних паковань для підприємств-виробників харчової продукції різних галузей та торгівельних підприємств.

Конкуренти, товари-замінники даної продукції – розумні пакування, які вже існують на ринках Європи та США. На вітчизняному ринку прямих конкурентів немає, а замінниками можуть слугувати звичайні пакування без індикаторів. Тому в Україні результати НДР мають високий рівень інвестиційної привабливості.

На основі розроблених технологічних рекомендацій по підборі технологічних параметрів і режимів друкування нанофотонних елементів новітніх паковань і методики розрахунку технологічних параметрів поліграфічного виготовлення нанофотонних елементів новітніх паковань із заданими фотолюмінесцентними характеристиками можливий річний обсяг виробництва нової продукції, залежно від поточної потужності поліграфічних підприємств і загальної потреби у продукції, що складає близько 7-8 млн. од. на рік за даними середньорічного споживання цільової харчової продукції. Термін окупності витрат на розробку і виробництво при розрахованій середній собівартості виготовлення 1 нанофотонного елемента у 0,5 грн. при 20% надбавці для окупності витрат на науково-технічну розробку в обсязі 200 тис. грн. (приймавши 0,1 грн. на 1 од. продукції) дорівнює терміну виготовлення і реалізації замовлень на продукцію тиражем у 2 млн. екз, таким чином, термін окупності не перевищує 3 місяців. У подальшому можливий річний прибуток від виготовлення продукції (у випадку встановлення норми прибутку в розмірі 20% собівартості продукції) на суму 700-800 тис. грн. на рік. Отже, очікуваний економічний ефект від впровадження результатів розробки – до 0,8 млн. грн. на рік; бюджетна ефективність реалізації результатів НДР – 400%.

Соціальний ефект від реалізації результатів НДР полягає у сприянні створенню нових робочих місць та збереженню існуючих за рахунок переорієнтування поліграфічних підприємств на виготовлення ускладнених паковань. Реалізація результатів НДР дозволить підвищити якість послуг, що надаються кінцевому споживачеві харчових паковань, і підвищити безпечність споживання харчової продукції.

6. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації). Підприємства харчової та пакувальної галузі, а також виробники поліграфічно

оформлюваних паковань, тобто поліграфічні підприємства України, які є виробниками паковань для підприємств харчової та пакувальної галузей.

7. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені наноконпозиції, відпрацьовані технології їх нанесення, розроблені рекомендації щодо технологічних режимів нанесення наноконпозицій з метою отримання маркувань з наперед заданими оптичними характеристиками. Розроблені наноконпозиції, повністю адаптовані до використання в промисловому виробництві.

8. Існуючі результати впровадження.

У виробничих умовах було експериментально перевірено можливість та ефективність застосування розроблених матеріалів і технологій поліграфічного нанесення нанофотонних покриттів на різні пакувальні матеріали, а також виготовлення функціональних паковань на основі нанорозмірних люмінесцентних матеріалів. За розробленою технологією було виготовлено партію заготовок друкованих маркувань з нанофотонними елементами для розумних паковань у загальній кількості 4000 шт. У процесі виробничих випробувань було проведено оцінку оптичних і експлуатаційних характеристик зразків. Шляхом запису спектрів люмінесценції та візуального й інструментального контролю якості відбитків встановлено, що результати НДР дають змогу використовувати фотоактивні наноконпозиції та рекомендації щодо особливостей застосування друкарських технологій як основу для розробки і виготовлення друкованих розумних паковань. Сумарний річний економічний ефект від впровадження результатів НДР у виробництво склав 57 400 грн. Результати виконання НДР впроваджено на підприємствах ТОВ «СТ-друк» (акт впровадження від 1.11.2016 р.) і ТОВ «Перша українська сувенірна компанія» (акт впровадження від 8.11.2016 р.).

10. Форма участі інвестора

Реалізація результатів виконання НДР може передбачати участь інвестора у формі капіталовкладень: частка в проекті – 50 %, частка від прибутку – 30%.

11. Обсяг інвестицій

Реалізація результатів проекту потребуватиме інвестицій у сумі 80 тис. доларів США.

12. Мета інвестицій

Інвестиції необхідні для створення нового підприємства або переобладнання існуючого поліграфічного підприємства для виготовлення фарбових композицій та випуску друкованих новітніх харчових паковань з нанофотонними елементами.

13. Назва організації, телефон, E-mail

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Видавничо-поліграфічний інститут, кафедра технології поліграфічного виробництва, (044) 204-84-23, morozov.and@ukr.net

14. Фото розробки



Рис. 1. Вигляд при опроміненні УФ світлом невидимого при денному світлі зображення, надрукованого фарбами з нанофотонними елементами

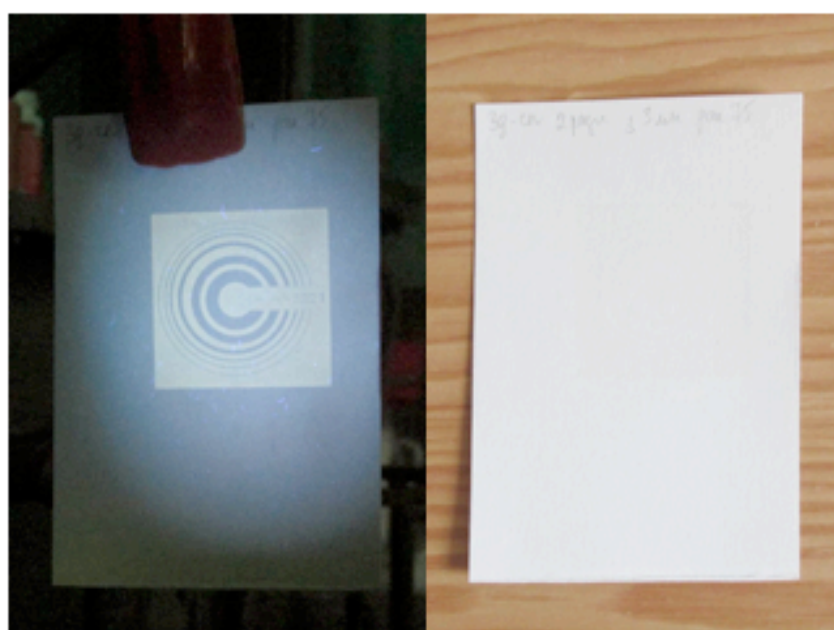


Рис. 2. Вигляд при опроміненні УФ світлом невидимого при денному світлі зображення, надрукованого фарбовими композиціями з наночастинками ZnO і полівінілпіролідом (ПВП) на нелюмінесцентному папері



Рис. 3. Комбіновані зображення, надруковані традиційними фарбами і фарбами з нанофотонними елементами: зліва – оригінал-макет, по центру – вигляд зображення при денному світлі, справа – вигляд зображення при УФ світлі

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

15.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних:

1. Sarapulova O. Photonics and nanophotonics and information and communication technologies in modern food packaging / O. Sarapulova, V. Sherstiuk, V. Shvalagin, A. Kukhta // *Nanoscale Research Letters*. – 2015. – Vol. 10. – P. 229–336.
2. Sarapulova O. Influence of parameters of a printing plate on photoluminescence of nanophotonic printed elements of novel packaging / O. Sarapulova, V. Sherstiuk // *Journal of Nanotechnology*. – 2015. – Vol. 2015. – P. 1–6.
3. Sarapulova O. Formation and photoluminescent properties of nanophotonic elements with nanosized ZnO for smart packaging, deposited by screen printing / O. Sarapulova, V. Sherstiuk // *Journal of Print and Media Technology Research*. – 2015. – Vol. 3. – P. 187–194.
4. Shvalagin V. Influence of Nanosized Silicon Oxide on the Luminescent Properties of ZnO Nanoparticles / V. Shvalagin, G. Grodziuk, O. Sarapulova, M. Kurmach, V. Granchak, V. Sherstiuk // *Journal of Nanotechnology*. – 2016. Vol. 2016(1). – P. 1–7.
5. Hrytsenko O. Influence of parameters of screen printing on photoluminescence properties of nanophotonic labels for smart packaging / O. Hrytsenko, V. Shvalagin, G. Grodziuk, V. Granchak // *Journal of Nanotechnology*. – 2016. – Vol. 2016(3). – P. 1–8.

15.2. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України:

6. Сарапулова О. О. Використання друкованих нанофотонних елементів на пакованні для оцінки придатності упакованих продуктів / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Упаковка. – 2015. – №1. – С. 30–33.
7. Сарапулова О. О. Методика і програмне забезпечення для розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. – 2015. – №2(48). – С. 38–46.
8. Сарапулова О. О. Комплексна модель впливу технологічних параметрів друкування покриттів з нанофотонними елементами на їхні фотолюмінесцентні характеристики / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. – 2015. – №3(49). – С. 38–46.
9. Сарапулова О. О. Нанофотонні елементи новітніх пакувань (моделювання процесів виготовлення) / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Упаковка. – 2015. – №5. – С. 34–37.
10. Шерстюк В. П. Забезпечення інформаційних функцій пакувань за допомогою поліграфічних технологій з використанням наноматеріалів / В. П. Шерстюк, О. О. Сарапулова, В. В. Швалагін // Пакувальна індустрія (на шляху до європейських ринків): Матеріали ІХ Науково-практичної конференції (24–25 вересня 2015 р., Київська обл., Броварський р-н, с. Княжичі, Україна). – Додаток до часопису «Упаковка». – 2015. – № 5. – К., 2015. – 152 с. – С. 46–54.
11. Гриценко (Сарапулова) О. О. Вплив факторів технологічного середовища на оптичні показники функціональних пакувань / О. О. Гриценко, В. П. Шерстюк // Упаковка. – 2016. – №3. – С. 38–40.
12. Гриценко (Сарапулова) О. О. Визначення оптичних характеристик зображень з нанофотонними елементами, виготовлених струминним способом друку / О. О. Гриценко, О. Д. Задорожна, В. П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. – 2016. – №1(51). – С. 57–65.
13. Гриценко О. О. Маркування пакувань мітками з нанофотонними елементами. Технічні та дизайнерські аспекти / О. О. Гриценко, В. П. Шерстюк // Упаковка. – 2016. – №5. – С. 53–57.
14. Гриценко О. О. Розрахунок технологічних параметрів маркування пакування з нанофотонними елементами / О. О. Гриценко // Поліграфія і видавнича справа. – 2016. – №1(71). – С. 140–146.
15. Гриценко О. О. Виготовлення маркувань розумних пакувань з використанням нанофотонних фарбових композицій на алюмінієвій фользі трафаретним способом друку / О. О. Гриценко, А. С. Морозов, В. В. Швалагін, Г. Я. Гродзюк // Технологія і техніка друкарства. – 2016. – №3(53).

16. Ключові слова до розробки: функціональні новітні пакування, розумні пакування, харчові пакування, нанофотонні системи, фотофізичні властивості, інтенсивність люмінесценції, нанокристали ZnO, полівінілпіролідон, маркування, оптичні характеристики, параметри друкарського процесу, фіксування друкованих відбитків, товщина шару фарби.