

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

**МЕТОДИКА І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ДРУКУВАННЯ НАНОФОТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

У статті наведено розроблений алгоритм і описано роботу розробленого програмного забезпечення, призначених для розрахунку технологічних параметрів виготовлення друкованих нанофотонних елементів новітніх харчових паковань.

Даний алгоритм і програмне забезпечення призначені для одержання нанофотонних елементів із наперед заданими фотолюмінесцентними характеристиками, а також для прогнозування фотолюмінесцентних характеристик нанофотонних елементів за відомими значеннями параметрів технологічного процесу.

Ключові слова: алгоритм; програмне забезпечення; нанофотоніка; новітні пакування; фотолюмінесценція.

Постановка проблеми

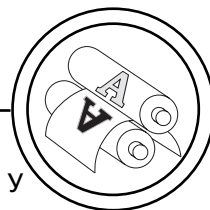
Новітні пакування для харчових продуктів, до яких відносять активні і розумні пакування, виконують функції спостереження за станом запакованих продуктів і повідомлення споживача про їхню придатність до споживання. Виконання цих функцій є можливим завдяки наявності на матеріалі пакування спеціального нанофотонного елемента, який змінює свої люмінесцентні властивості внаслідок контакту з деякими речовинами або внаслідок зміни умов зберігання. Такі нанофотонні елементи виготовляються поліграфічними методами шляхом нанесення нанофотонної композиції [1, 2] на зовнішню або внутрішню поверхню пакування.

Для поліграфічного виготовлення нанофотонних елементів

новітніх паковань із необхідними, тобто наперед заданими, фотолюмінесцентними характеристиками, слід врахувати низку факторів, які впливають на ці характеристики в технологічному процесі. Вплив даних факторів був детально досліджений у працях [3–8]. Розрахунок такого впливу є досить складним і об'ємним, тому використання спеціалізованого програмного забезпечення значно полегшує і пришвидшує процес виготовлення даної поліграфічної продукції.

Аналіз попередніх досліджень

Було виявлено, що в літературних джерелах практично немає інформації про автоматизований обрахунок впливу технологічних параметрів друкар-



ського процесу виготовлення нанофотонних елементів новітніх пакувань на їхні фотолюмінесцентні характеристики. Тому необхідною є розробка методики обрахунку впливу параметрів технологічного процесу при друкуванні нанофотонних елементів, а також розробка відповідного програмного забезпечення.

Мета роботи

Розробка методики і програмного забезпечення для розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів новітніх пакувань із заданими фотолюмінесцентними характеристиками.

Результати проведених досліджень

Для створення алгоритму розрахунку параметрів технологічного процесу поліграфічного виготовлення нанофотонних елементів було використано попередні дослідження авторів, у яких було визначено вплив використовуваних матеріалів [3], технологічних параметрів додрукарського [4] і друкарського процесу різних способів друку [5–7], а також післядрукарських процесів [8] на фотолюмінесцентні характеристики нанофотонних елементів.

Запропонована методика описується представленим на рис. 1 алгоритмом розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів.

Спочатку визначаються початкові критерії. Обирається призначення нанофотонних елементів — для друку новітніх

пакувань і для друку ЦПДСО. У першому випадку далі вводяться параметри розміщення друкованого покриття відносно пакування, умови і термін зберігання пакування і параметри продукту, який буде запаковуватися. Також вказується спосіб друку, задруковуваний матеріал та його параметри. Далі вводяться параметри, які стосуються складу нанофотонної композиції: тип люмінесцентної складової та її характеристики, тип розчинника і тип полімера, а також вміст даних компонентів у композиції. Потім вказуються відомі технологічні параметри, які стосуються друкарської форми, показників зволожувального розчину (за наявності), параметри друкарського процесу, параметри зображення, яке буде надруковане, і в разі необхідності параметри інших технологічних операцій, таких як покриття та фіксування.

Потім проводиться перевірка введених даних, і при невідповідності допустимим значенням виводиться помилка та рекомендації щодо їх зміни.

На основі введених параметрів нанофотонної композиції розраховуються початкові спектральні параметри — тип спектральної кривої, початкові показники інтенсивності люмінесценції на кожній ділянці спектру. На основі введених параметрів ЗМ розраховується коефіцієнт впливу ЗМ на кожній ділянці спектру. Далі розраховується вплив параметрів друкарського процесу, на основі розрахунків обчислюється відповідний коефіцієнт впливу. Після цього розраховується

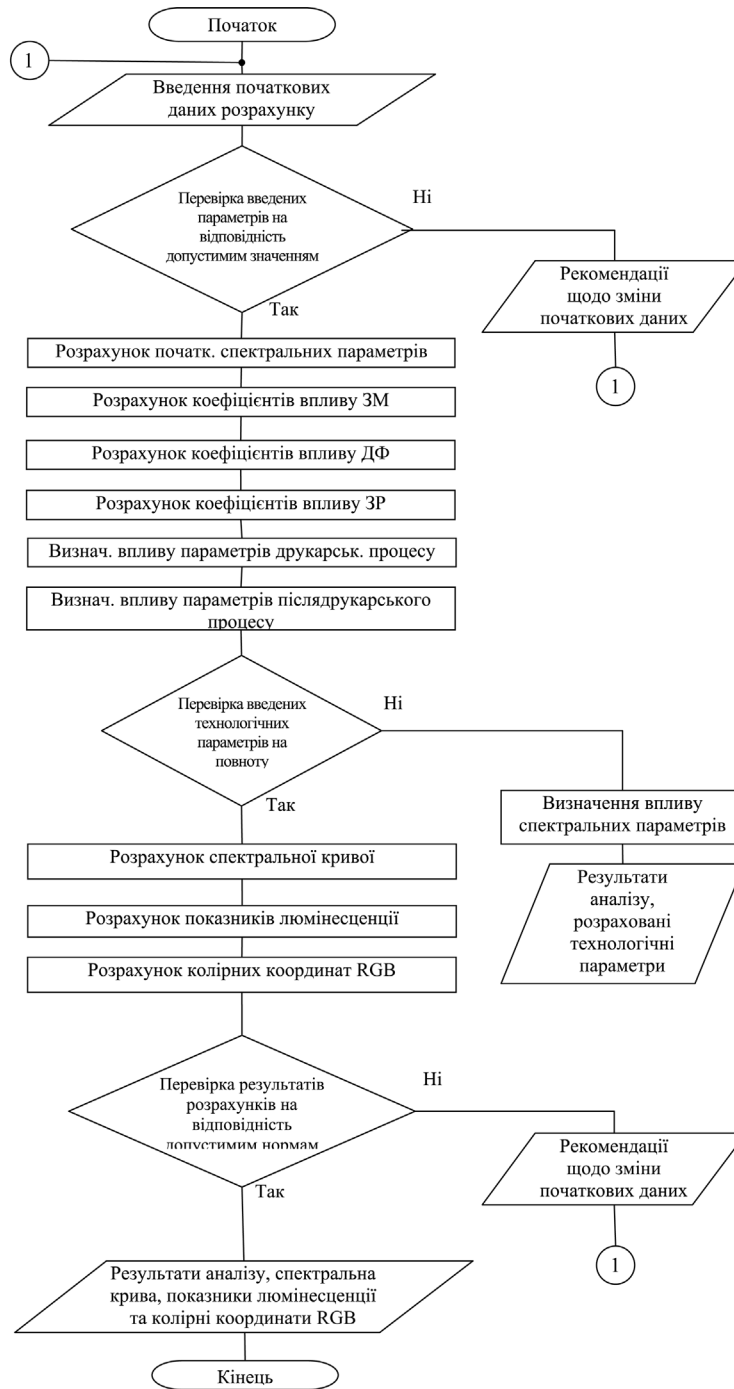
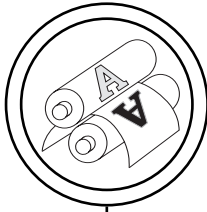
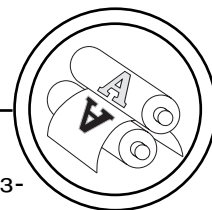


Рис. 1. Алгоритм розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів



вплив параметрів післядрукарського процесу, на основі чого обчислюється відповідний коефіцієнт.

На наступному етапі проводиться перевірка введення технологічних параметрів на повноту. Якщо технологічні параметри введені не в повному обсязі, проводиться розрахунок коефіцієнту впливу спектральних параметрів. На основі розрахованих коефіцієнтів визначаються і виводяться значення технологічних параметрів.

У випадку повноти введення технологічних параметрів проводиться розрахунок спектральної кривої (у вигляді табличних значень) із врахуванням обчислених у попередніх операціях коефіцієнтів. Потім на основі розрахованої спектральної кривої розраховуються показники люмінесценції — величин піків люмінесценції. Далі розраховується колір люмінесценції у колірних координатах RGB.

Наступним етапом здійснюється перевірка результатів розрахунків на відповідність допустимим нормам. У випадку виявленої невідповідності виводяться рекомендації щодо зміни початкових даних.

На заключному етапі здійснюється виведення результатів аналізу, спектральної кривої, показників люмінесценції та колірних координат RGB, за якими також надається колір люмінесценції у візуальному відображенні.

На основі аналітичних досліджень та запропонованого алгоритму розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів було

розроблено програмне забезпечення у сучасному програмному середовищі Delphi XE5. Інтерфейс комп'ютерної програми «Розрахунок технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів» представлено на рис. 2.

Програма складається з двох файлів: файлу програми з розширенням *.exe, двох файлів з розширенням *.csv, в яких представлені вихідні дані для розрахунку спектрів люмінесценції нанофотонних покриттів. Цей файл можна коригувати, уточнюючи вихідні спектри, отримані за конкретних технологічних умов.

Програма умовно поділяється на три частини, представлені на трьох вкладках: «Вихідні параметри», «Технологічні параметри» та «Спектральні параметри». У першій частині вводяться вихідні параметри розрахунку, у другій можна вводити і одержувати суто технологічні параметри розрахунку, а в третій вводити та отримувати дані, які стосуються спектральних параметрів друкованих нанофотонних шарів.

Для початку розрахунку технологічних параметрів для отримання друкованих покриттів із заданими люмінесцентними властивостями необхідно ввести початкові параметри на вкладці «Вихідні параметри». Програма дозволяє провести розрахунки покриттів, призначених для друку розумних паковань і для друку цінних паперів та документів суворого обліку. Тип покриття необхідно обрати в пункті «Призначення системи». Якщо обрано призначення

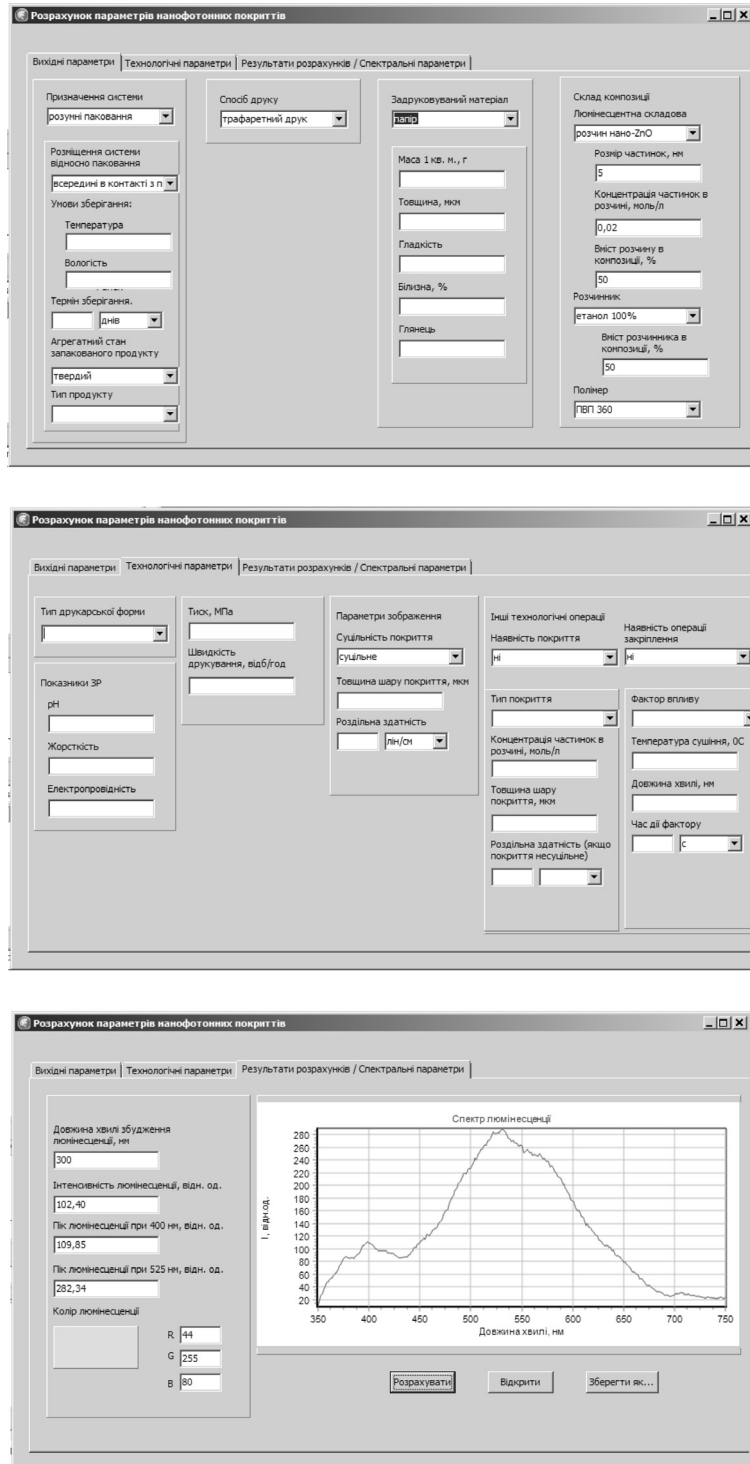
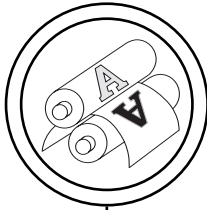
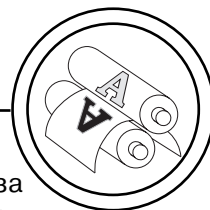


Рис. 2. Інтерфейс програми розрахунку технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів



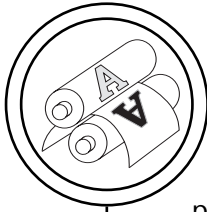
системи «розумні пакування», слід вказати параметри розміщення друкованого покриття відносно пакування, умови і термін зберігання пакування і параметри продукту, який буде запаковуватися. Праворуч необхідно обрати спосіб друку, задруковуваний матеріал та його параметри. Далі вводяться параметри, які стосуються складу нанофотонної композиції: тип люмінесцентної складової та її характеристики, тип розчинника і тип полімера, а також вміст даних компонентів у композиції.

На вкладці «Технологічні параметри» вказуються відомі технологічні параметри, які стосуються друкарської форми, показників зволожувального розчину (за наявності), параметри друкарського процесу, параметри зображення, яке буде надруковано, і в разі необхідності параметри інших технологічних операцій, таких як покриття та сушіння/закріплення. Поля з параметрами, які потрібно розрахувати, не заповнюються.

На вкладці «Спектральні параметри» можна отримати результати розрахунків спектральних показників нанофотонних покриттів, якщо вказані всі необхідні технологічні параметри на вкладці «Технологічні параметри». Для цього слід натиснути кнопку «Розрахувати», в результаті чого буде виведено спектр люмінесценції змодельованого покриття, числові значення інтенсивності люмінесценції та величин піків люмінесценції, а також колір люмінесценції у візуальному відображенні на панелі та в колірних координатах RGB. Довжина хвилі

збудження люмінесценції за замовчуванням приймається 330 нм. За необхідності її можна змінити, вказавши значення в діапазоні 300–400 нм перед натисканням кнопки «Розрахувати». Одержаний спектр люмінесценції можна зберегти у вигляді таблиці числових значень в файл формату *.csv, натиснувши кнопку «Зберегти як...». За необхідності можна відкрити раніше збережений файл із розрахованим спектром, натиснувши кнопку «Відкрити». На графіку з'явиться раніше розрахований спектр, а зліва від графіку будуть надані числові значення інтенсивності люмінесценції та величин піків люмінесценції, колір люмінесценції у візуальному відображенні на панелі та в колірних координатах RGB.

Якщо деякі технологічні параметри невідомі, на вкладці «Спектральні параметри» потрібно вказати необхідні значення спектральних показників нанофотонного шару: інтенсивності люмінесценції, піків люмінесценції та/або кольору люмінесценції (який може бути представлений у вигляді колірних координат RGB або вибраний візуально через діалог вибору кольору, який можна викликати натисканням на панель кольору. За замовчуванням панель кольору має чорний колір і напис «обрати колір». Також можна завантажити спектр люмінесценції покриття, яке необхідно відтворити. Для цього слід натиснути на кнопку «Відкрити» і вибрати файл формату *.xls, в якому знаходяться числові значення раніше записаного спектру.



Після того, як спектральні параметри вказані, слід натиснути кнопку «Розрахувати». Розраховані значення технологічних параметрів з'являться на вкладці «Технологічні параметри» і будуть підсвічені жовтим кольором.

Після розрахунку невідомих технологічних параметрів за заданими спектральними параметрами може виникнути ситуація, коли для відтворення нанофотонного покриття підходить декілька значень технологічних параметрів. Якщо невідомо декілька технологічних параметрів, такі варіанти будуть вказані окремо у діалоговому вікні. Якщо потрібно, можна обрати певний варіант і, зменшивши кількість невідомих технологічних параметрів, перерахувати результати.

Висновки

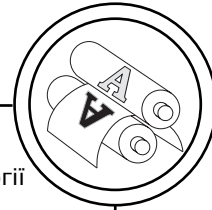
У результаті проведених досліджень було розроблено

алгоритм і програмне забезпечення для розрахунку впливу технологічних параметрів друкування нанофотонних елементів новітніх пакувань на їхні фотолюмінесцентні характеристики, а також для розрахунку необхідних значень технологічних параметрів для одержання друкованих нанофотонних елементів із наперед заданими фотолюмінесцентними характеристиками. Програмне забезпечення значно полегшує і пришвидшує процеси поліграфічного виготовлення нанофотонних елементів, які забезпечують функціональність новітніх харчових пакувань, що уможливають спостереження за станом запакованих продуктів та інформування споживача про безпеку споживання запакованих продуктів.

Дослідження проводилися за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках НДР № 2873п.

Список використаної літератури

1. Sarapulova O. Luminescent nanosized composites for indicating and preventing compositional changes of packaged products in modern printed packaging / O. Sarapulova, V. Sherstiuk, V. Shvalagin // *Nanoscience and Nanotechnology Letters*. — 2013. — Vol. 5. — P. 1141–1146.
2. Шерстюк В. П. Люминесцентные пленки на основе наноразмерного оксида цинка в поливинилпирролидоне и их функциональные характеристики / В. П. Шерстюк, В. В. Швалагин, О. О. Сарапулова, В. М. Гранчак // VI Международная научная конференция «Функциональная база нанoeлектроники». Сборник научных трудов. — Харьков : ХНУРЕ, 2013. — 393 с. — С. 250–253.
3. Сарапулова О. О. Вплив властивостей задрукованого матеріалу на виготовлення друкованих нанофотонних систем / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // *Технологія і техніка друкарства*. — 2014. — № 3(45). — С. 103–112.
4. Сарапулова О. О. Вплив параметрів друкарської форми на люмінесцентні характеристики нанофотонних друкованих покриттів / О. О. Сарапулова // *Технологія і техніка друкарства*. — 2014. — № 1(43). — С. 97–106.
5. Сарапулова О. О. Перспективи використання різних способів друку для поліграфічного виготовлення нанофотонних і фотокаталітичних систем для пакувань / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // *Матеріали доповідей X*



Науково-практичної конференції молодих вчених «Новітні технології пакування». — Додаток до журналу «Упаковка». — 2014. — С. 15–18.

6. Сарапулова О. О. Технологічні особливості нанесення нанофотонних елементів пакувань трафаретним способом друку / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. — 2013. — № 3. — С. 18–26.

7. Сарапулова О. Особливості відтворення нанофотонних міток тампонним способом друку / О. Сарапулова, В. Шерстюк // Матеріали доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі. — 2014. — С. 56–58.

8. Сарапулова О. О. Вплив технологічних параметрів фіксування нанофотонних друкованих покриттів на їхні фотолюмінесцентні характеристики / О. О. Сарапулова, В. П. Шерстюк // Технологія і техніка друкарства. — 2014. — № 4(46). — С. 21–28.

References

1. Sarapulova O. Luminescent nanosized composites for indicating and preventing compositional changes of packaged products in modern printed packaging / O. Sarapulova, V. Sherstiuk, V. Shvalagin // Nanoscience and Nanotechnology Letters. — 2013. — Vol. 5. — P. 1141–1146.

2. Sherstjuk V. P. Ljuminiscentnye plenki na osnove nanorazmernogo oksida cinka v polivinilpirrolidone i ih funkcional'nye karakteristiki / V. P. Sherstjuk, V. V. Shvalagin, O. O. Sarapulova, V. M. Granchak // VI Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Funkcional'naja baza nanojelektroniki». Sbornik nauchnyh trudov. — Har'kov : HNURJe, 2013. — 393 s. — S. 250–253.

3. Sarapulova O. O. Vplyv vlastyvoستي zadrakovuvanoho materialu na vyhotovlennia drukovanykh nanofotonnykh system / O. O. Sarapulova, V. P. Sherstiuk // Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva. — 2014. — № 3(45). — S. 103–112.

4. Sarapulova O. O. Vplyv parametriv drukarskoi formy na liuminestsentni kharakterystyky nanofotonnykh drukovanykh pokryttiv / O. O. Sarapulova // Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva. — 2014. — № 1(43). — S. 97–106.

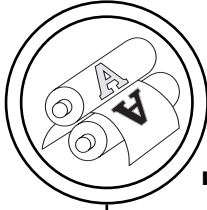
5. Sarapulova O. O. Perspektyvy vykorystannia ryznykh sposobiv druku dlia polihrafichnogo vyhotovlennia nanofotonnykh i fotokatalitychnykh system dlia pakovan / O. O. Sarapulova, V. P. Sherstiuk // Materialy dopovidei X Naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh «Novitni tekhnolohii pakuvannia». — Dodatok do zhurnalu «Upakovka». — 2014. — S. 15–18.

6. Sarapulova O. O. Tekhnolohichni osoblyvosti nanesennia nanofotonnykh elementiv pakovan trafaretnym sposobom druku / O. O. Sarapulova, V. P. Sherstiuk // Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva. — 2013. — № 3. — S. 18–26.

7. Sarapulova O. Osoblyvosti vidtvorennia nanofotonnykh mitok tamponnym sposobom druku / O. Sarapulova, V. Sherstiuk // Materialy dopovidei XVIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii z problem vydavnycho-polihrafichnoi haluzi. — 2014. — S. 56–58.

8. Sarapulova O. O. Vplyv tekhnolohichnykh parametriv fiksuvannia nanofotonnykh drukovanykh pokryttiv na yikhni fotoliuminestsentni kharakterystyky / O. O. Sarapulova, V. P. Sherstiuk // Tekhnolohiia i tekhnika druzkarstva. — 2014. — № 4(46). — S. 21–28.

В статье приведен разработанный алгоритм и описано работу разработанного программного обеспечения, предназначенного для расчета технологических параметров



изготовления печатных нанофотонных элементов новейшей пищевой упаковки. Данный алгоритм и программное обеспечение предназначены для получения нанофотонных элементов с наперед заданными фотолюминесцентными характеристиками, а также для прогнозирования фотолюминесцентных характеристик нанофотонных элементов с известными значениями параметров технологического процесса.

Ключевые слова: алгоритм; программное обеспечение; нанофотоника; новейшая упаковка; фотолюминесценция.

The paper presents the algorithm and describes the developed software aimed to calculation of the technological parameters of production of printed nanophotonic elements of novel food packaging. This algorithm and software are designed to produce nanophotonic elements with predetermined photoluminescent characteristics and to predict photoluminescent characteristics of nanophotonic elements with the known values of technological process parameters.

Keywords: algorithm; software; nanophotonics; smart packaging; photoluminescence.

Рецензент — В. В. Швалагін, к.х.н.,
науковий співробітник Інституту фізичної хімії
ім. Л. В. Писаржевського НАН України

Надійшла до редакції 07.04.15