

DOI: 10.35681/1560-9189.2020.22.3.219022

УДК 004; 681.7.06

І. В. Косяк

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

Формування розподілення конусних поверхонь у структурі оптичних дифузорів-гомогенізаторів

Проведено аналіз і дослідження формування випадкових і регулярних рельєфних структур в оптичних дифузорах-гомогенізаторах. Розглянуто особливості способів виготовлення оптичних дифузорів. Запропоновано реалізацію формування випадкових рельєфних структур в оптичних дифузорах.

Ключові слова: оптичний дифузор, формування, рельєфна структура, конусна поверхня, світловий потік.

Оптичні дифузори широко використовуються в променевих системах наведення, дистанційному керуванні складними виробничими процесами, системах освітлення для різних промислових застосувань і в інших пристроях, де виникає необхідність у формуванні освітлювального пучка із заданими параметрами. На відміну від звичайного матового скла оптичні дифузори-гомогенізатори дозволяють управляти шириною індикатриси розсіювання світла для більш ефективного використання світлового пучка в системах наведення.

Існують різні способи виготовлення оптичних дифузорів, залежно від кінцевої мети використання, серед яких перетворення амплітудного голографічного запису в рельєфно-фазовий на галоїдосрібних фотоемульсіях [1], формування голографічних структур на поверхні фотоемульсії у вигляді рельєфу [2], вдавлювання шару плівки на шар акрилової смоли з утворенням ряду рівномірно розподілених випуклих мікрокрапок на шарі акрилової смоли [3]. Поверхня шару акрилової смоли утворює безліч опуклих мікрокрапок. Промені, що проходять через оптичний дифузор, можуть відбиватися, переломлюватися та дифрагувати і, таким чином однорідно розсіюватися.

Запропоновані способи мають певні недоліки стосовно їхнього використання у системах наведення. Оптичний дифузор при цьому виготовляється з м'якого полімерного матеріалу, що ускладнює його експлуатацію. Тому вдосконалення способів виготовлення оптичних дифузорів залишається актуальним завданням

Для вирішення цієї проблеми запропоновано спосіб виготовлення оптичного дифузора у вигляді рельєфної мікроструктури [4], що включає нанесення твердосплавним конічним індентором з кутом при вершині $120\text{--}160^\circ$ конічних заглиблень

© І. В. Косяк

на металеву підкладку, яка подалі використовується як штамп для термопресування рельєфної мікроструктури у вигляді конічних виступів на оптично прозорому полімерному матеріалі.

Для досягнення високої ефективності під час гомогенізації та уникнення появи плями нульового порядку, оптичні елементи, які створюються конусними поверхнями, повинні бути структуровані з коефіцієнтом заповнення 100 %.

Дана робота присвячена аналізу та дослідженню формування розподілення конусних поверхонь у структурі оптичних дифузорів-гомогенізаторів для отримання найбільш однорідної структури світлового потоку на площадках фотоприймача.

Геометричне моделювання розподілу конусних поверхонь

При використанні способу виготовлення оптичного дифузора у вигляді рельєфної мікроструктури [4] для отримання найбільш однорідної структури світлового потоку, у вигляді круглої плями на площадках фотоприймача проведено геометричне моделювання розподілу конусних поверхонь на множині точок площини. Комп'ютерне геометричне моделювання, дозволяє ефективно розробити та дослідити геометричну модель конструкції виробу.

Для кращого розсіювання світлового потоку, розширення спектра розподілу інтенсивності використовується випадкове розміщення точок (конусних поверхонь), так як регулярна структура розміщення призводить до певних небажаних оптичних ефектів. Хаотично розподілена структура конусних поверхонь на множині точок площини поверхні дифузора представляє собою масив мікролінз і діє як високоефективний розсіювач, розподіл інтенсивності якого подібний до Гаусового.

Простим методом проектування розміщення випадково розподілених лінз є використання мозаїки Вороного [5]. Набір вихідних положень майбутніх центрів лінз випадковим чином розподіляється по поверхні (точки на рис. 1). Для кожного з цих вихідних положень окрема, так звана клітина Вороного, визначається як область, що охоплює область, яка знаходиться ближче до цього конкретного положення, ніж до будь-якої іншої.

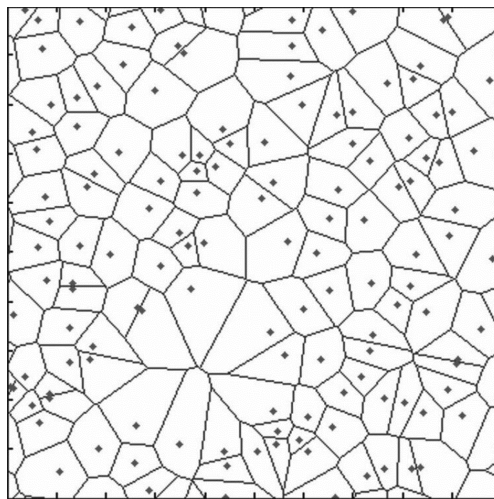


Рис. 1. Мозаїка Вороного

Основним недоліком цього методу моделювання на основі мозаїки Вороного є те, що розміри апертури об'єктива не розподілені повністю рівномірно. Тим більше, що кількість лінз з невеликим отвором занадто мала. Це означає, що розподіл інтенсивності з чітко визначеною Гаусовою формою не може бути досягнуто за допомогою цього методу проектування [6].

Розглянемо варіанти випадкового двовимірного розподілення конусних поверхонь у вигляді точок на квадраті розміром 40×40 мм, які були виконані за допомогою математичного програмного забезпечення Mathcad із використанням функції $rnd(z)$, яка повертає рівномірно розподілене випадкове число між 0 та z . У нашому випадку z дорівнює 40, що відповідає розмірам матриці 40×40 мм. Значення координат множини точок площини відповідні координатам на матриці розміром 40×40 мм, що служить заготовкою для подальшого виготовлення дифузорів.

На рис. 2 зображено випадкове розташування конусних поверхонь діаметрами 0,25 мм і 1,0 мм відповідно зліва та справа. Множина значень точок дає уяву про їхній розподіл на площині. Зображені на рисунках точки діаметрами 0,25 мм представлені для кращого сприйняття та порівняння. Випадкове розташування точок відбувалося по всій площині в заданому діапазоні їхньої кількості на квадраті розміром 40×40 мм.

На рис. 2,а зображена матриця розмірами 40×40 точок, на рис. 2,б — матриця 60×60 точок і на рис. 2,в — матриця 80×80 точок. Як видно з рисунків, навіть при такій великій кількості точок 6400 діаметром 1,0 мм, розташованих на квадраті розмірами 40×40 мм (рис. 2,в), залишаються ділянки, що просвічуються наскрізь. За наявності в дифузорі ділянок, не покритих конусними поверхнями, в розподіленні світлового потоку з'являються небажані кільця.

Щоб подолати ці обмеження, було запропоновано геометричну модель випадкового двовимірного розподілення конусних поверхонь та алгоритм програми для її створення.

Випадкове двовимірне розподілення конусних поверхонь на площині відбувається в межах сітки квадрата, що складається з вертикальних і горизонтальних ліній, які проходять через всю область заданої площини 40×40 мм. Крок ліній сітки дорівнює відношенню $40/\times$, де \times — розмір заданої множини точок по одній із координат (у нашому випадку множина точок площини у вигляді квадрата).

Точки розміщуються умовно в клітинках сітки на задані межі відхилення, використовуючи функцію $rnd(z)$, де z приймає значення, що задається від 0 до величини відношення $40/R$. Геометричне моделювання показало, що при значенні $z = 0,4$ у функції $rnd(z)$ і діаметрі конусної поверхні 1 мм, найбільший допустимий крок сітки, при якому відсутні просвітлені ділянки, дорівнює 0,67 мм. При такому кроці сітки на площині 40×40 мм розташовується 3600 точок (60×60). На рис. 3 наведено приклад формування випадково-впорядкованого розміщення точок на площині, який наглядно демонструє про відсутність просвітлених ділянок на площині. Таке розташування точок дає можливість створення безперервної структури з конусних поверхонь.

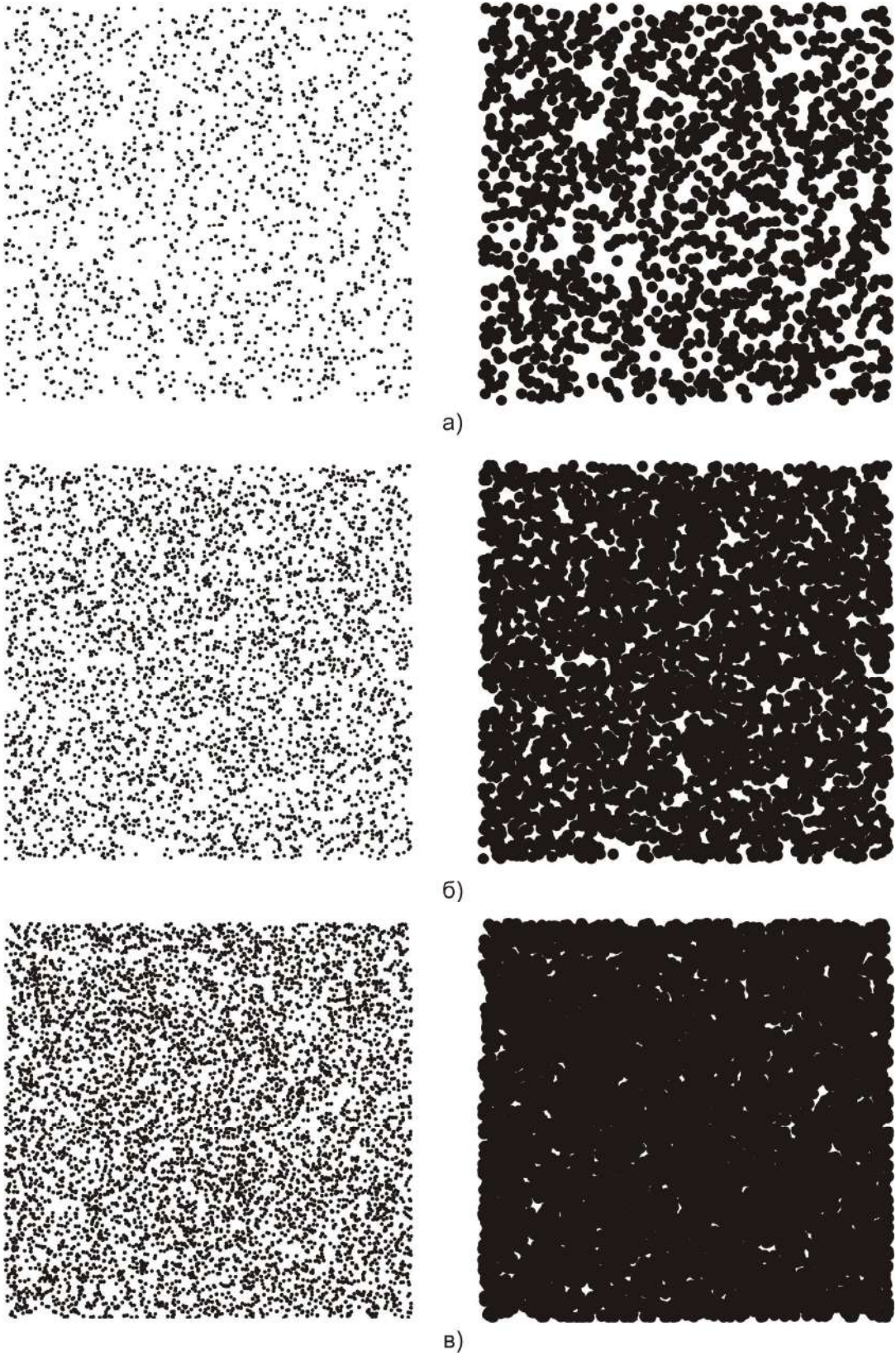


Рис. 2. Випадкове розташування конусних поверхонь діаметрами 0,25 мм і 1,0 мм відповідно зліва і справа

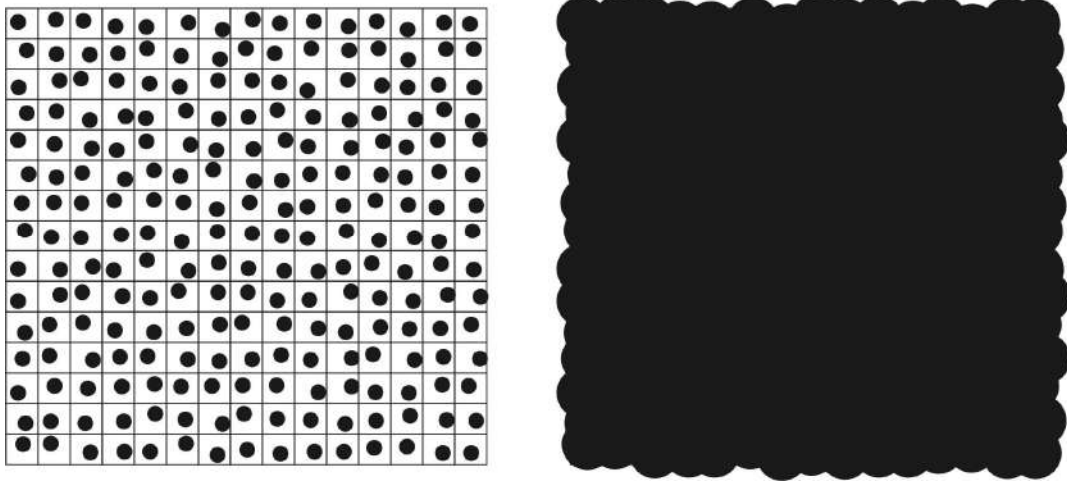


Рис. 3. Випадково-впорядковане розташування конусних поверхонь діаметрами 0,25 мм і 1,0 мм відповідно зліва та справа

Аналізуючи результати геометричного моделювання, можна зазначити, що випадково-впорядковане розташування точок на площині забезпечить більш рівномірне розподілення світлового потоку без наявних ділянок, що просвічуються, при меншій кількості конусних поверхонь, на відміну від випадкового розташування конусних поверхонь.

На рис. 4 представлено спрощений алгоритм формування випадково-впорядкованого розташування координат конусних поверхонь на матриці, де R — значення кількості точок по одній із координат (для квадрату), D — розмір площини матриці.

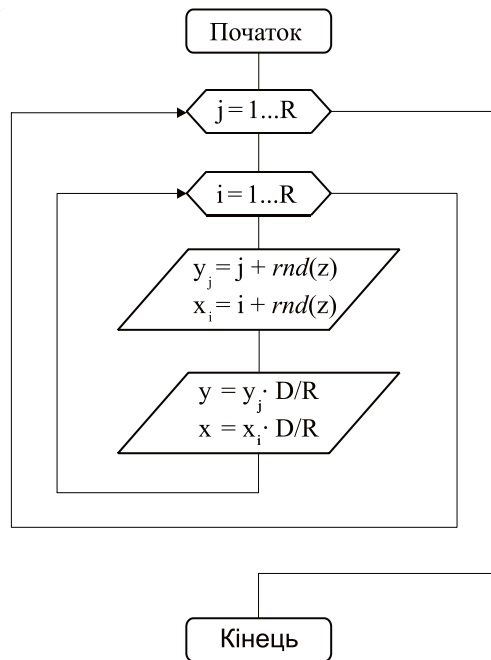


Рис. 4. Алгоритм формування випадково-впорядкованого розташування координат конусних поверхонь на матриці

Значення координат x , y для розташування конусних поверхонь на площині матриці (рис. 3), створюється програмно за допомогою вкладених циклів. При цьому, до кожної із координат x та y окремо застосовується функція $rnd(z)$, що являє собою функцію генерації випадкових чисел із рівномірним розподілом в інтервалі $[0, z]$. Потім дані координат нормуються відповідно до розмірів площини матриці відношенням $40/R$, де R — розмір заданої множини точок по одній із координат.

Координати точок згенерованої матриці застосовуються надалі у формуванні програми для прецизійного верстата з числовим програмним керуванням.

Для поліпшення пеленгаційної характеристики дифузорів, зменшення надлишкового розсіювання, підвищення її лінійності, запропоновано перейти від ортогональної структури формування координат конусних поверхонь на площині матриці до гексагональної структури (рис. 5, 6).

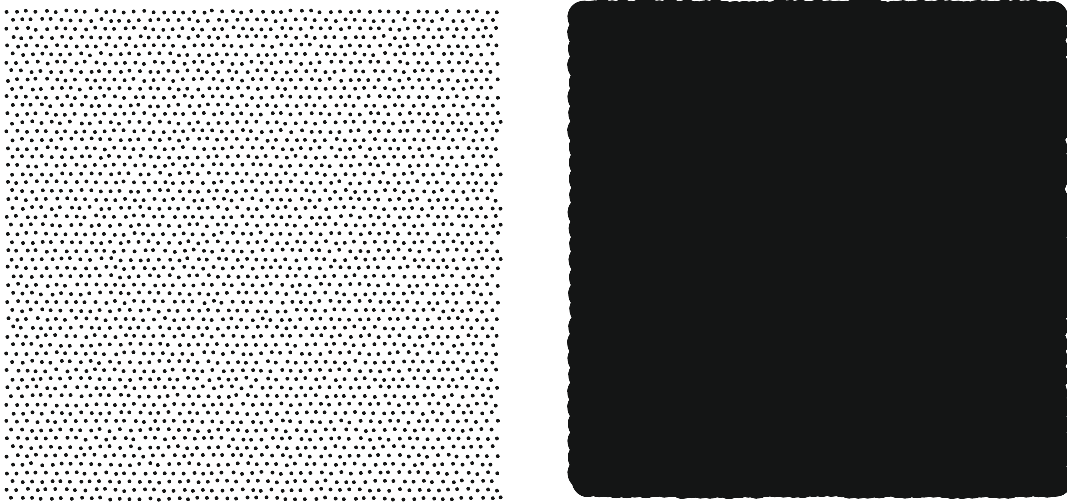


Рис. 5. Гексагональна структура з випадково-впорядкованим розташуванням конусних поверхонь діаметрами 0,25 мм і 1,0 мм відповідно зліва та справа. На площині 40×40 мм розміщено 50×50 точок

Аналіз геометричного моделювання розподілу конусних поверхонь, використовуючи гексагональну структуру з випадково-впорядкованим розташуванням точок на множині точок площини, показав більш рівномірне розподілення світлового потоку при ще меншій кількості конусних поверхонь на відміну від випадково-впорядкованого розташування конусних поверхонь із використанням ортогональної структури.

Так, за умови відсутності просвітлених ділянок на площині 40×40 мм, при використанні гексагональної структури з випадково-впорядкованим розташуванням точок застосовується 50×50 точок, а при використанні ортогональної структури з випадково-впорядкованим розташуванням точок застосовується 60×60 точок.

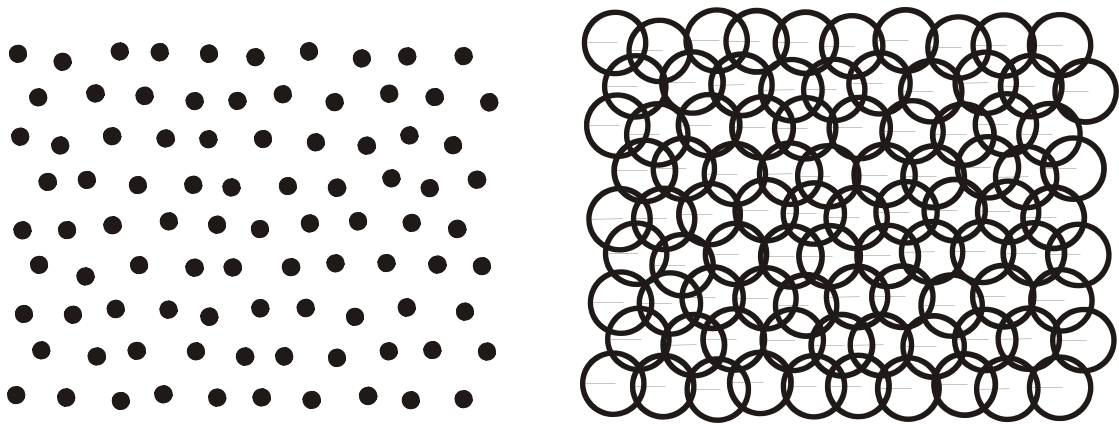


Рис. 6. Гексагональна структура з випадково-впорядкованим розташуванням конусних поверхонь діаметрами

Алгоритм формування гексагональної структури з випадково-впорядкованим розташуванням координат конусних поверхонь на матриці практично такий самий як на рис. 4, але має незначні відмінності у формуванні координат, які формуються за виразом:

$$y_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i + rnd(z),$$

$$x_i = i + rnd(z).$$

На рис. 7 зображено пеленгаційні характеристики 3-х дифузорів, де на кривій 1 представлено характеристику дифузора, в якому мають місце просвітлені ділянки, на кривій 2 дифузор із випадково-впорядкованим розташуванням точок на площині, на кривій 3 пеленгаційна характеристика «еталонного» зразка дифузора. З аналізу отриманих результатів видно, що запропонована гексагональна структура з випадково-впорядкованим розташуванням точок на площині (крива 2 рис. 7) забезпечує більшу лінійність пеленгаційної характеристики дифузорів.

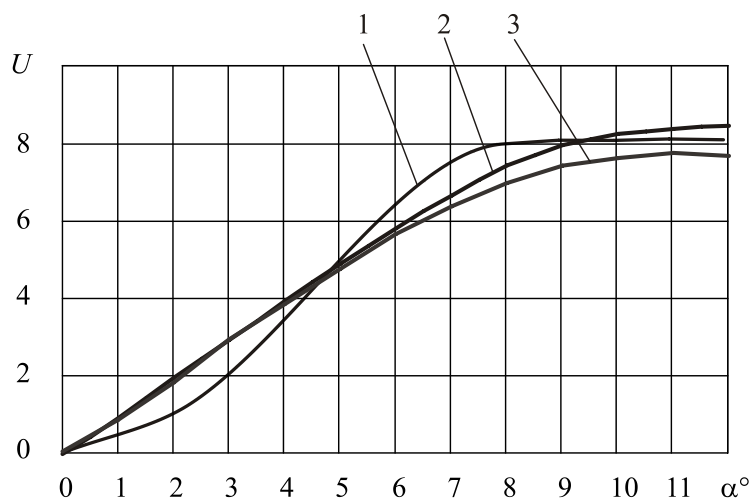


Рис. 7. Пеленгаційні характеристики дифузорів

Висновки

Виконано дослідження з формування розподілу конусних поверхонь на множині точок площини поверхні дифузора та запропоновано геометричну модель випадково-впорядкованого розташування точок на площині. Це забезпечує більш рівномірне розподілення світлового потоку при меншій кількості конусних поверхонь на відміну від випадкового розташування конусних поверхонь і підвищує лінійність пеленгаційної характеристики дифузорів.

1. Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. Создание оптических рассеивателей на галогидосеребряных фотоматериалах с помощью мультиплексных голограмм. *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84. Вып. 12. С. 112–116.

2. Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. Формирование поверхностного рельефа сложных голографических структур на фотоматериале ПФГ-01. *Оптический журнал*. 2015. Т. 82. Вып. 3. С. 37–42.

3. Пат. США № US8262953, МПК В29D11/00. Wang Lau-Shuenn. Method for making optical diffuser; Опубл. 11.09.2012.

4. Пат. України № UA123591, МПК G03F 7/20. Петров В.В., Бріцький О.І., Шанойло С.М., Антонов Є.Є., Крючин А.А., Косяк І.В. Спосіб виготовлення оптичного дифузора; Опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4.

5. Brunner R., Deparnay A., Helgert M., et al. Product piracy from nature: biomimetic microstructures and interfaces for high-performance optics. *Proc. SPIE*. 2008. Vol. 7057.

6. Matthias Cumme, Arnaud Deparnay. From regular periodic micro-lens arrays to randomized continuous phase profiles. *Adv. Opt. Techn.* 2015. Vol. 4(1). P. 47–61.

Надійшла до редакції 28.09.2020