

Коцун В.І.

ПВНЗ «Європейський університет»

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ СВІТЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВЕРТИКАЛЬНОГО КУТА РОЗХОДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА У ПЛАНАРНІЙ СТРУКТУРІ

Проведено комп'ютерне моделювання процесу змішування світлового випромінювання в залежності від вертикального кута розходження джерела світла у планарних рідкокристалічних (РК) структурах із використанням програмного продукту Zemax. Розглянуто характер зміни процесу змішування світлового випромінювання при вертикальних кутах розходження світлового випромінювання для тонких і широких джерел світла. Встановлено закономірності між типом джерела світла з різними вертикальними кутами розходження випромінювання та однорідністю розподілу світлового випромінювання, яке потрапляє в рідкий кристал. Визначено тип джерела випромінювання, що забезпечує однорідніший розподіл інтенсивності змішаного світлового потоку. Підтверджено можливість створення повноцінної планарної світловодної структури.

Ключові слова: планарні рідкокристалічні структури, моделювання, рідкі кристали, програмний продукт Zemax, розподіл світлового випромінювання, джерела світла.

Постановка проблеми. Рідкокристалічні матеріали (РК) можуть використовуватися як робоче середовище для побудови не тільки логічно закінчених пристроїв оптичної оброблення інформації, але й окремих елементів і вузлів, які можуть використовуватися у складі оптоелектронних систем з іншими робочими середовищами, зокрема рідкокристалічними. Одним із перспективних напрямків розвитку засобів відображення інформації (ЗВІ) колективного користування є застосування електрокерованих світлорозсіювальних структур на основі РК-матеріалів. Однак у таких структурах рівномірність свічення пікселя та кут огляду визначаються переважно характеристиками розсіювального шару та взаєморозташуванням джерел випромінювання базових кольорів. Поліваріантність окремих елементів системи підсвічування ускладнює проведення експериментальних досліджень, тому актуальним є моделювання процесу поширення випромінювання в таких структурах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із перспективних напрямків застосування рідкокристалічних матеріалів є створення на їх основі планарних світловодних структур. Це базується на їх високій чутливості до зовнішнього електричного поля, яке дозволяє в широких межах змінювати показник заломлення РК-шару. Існуючі приклади реалізації таких планарних структур [1–3], з одного боку показують перспективність застосування рід-

кокристалічних матеріалів, а з іншого, висвітлюють основну проблему таких пристроїв. Труднощі реалізації РК-планарних структур полягають в необхідності узгодження оптичної густини шару РК з іншими елементами планарної світловодної структури, такими як керуючі електроди, шар оболонки тощо. У деяких випадках, зокрема під час застосування кремнієвих підкладок, створення планарного РК-світловода неможливе внаслідок високого значення показника заломлення базового матеріалу мікроелектроніки кремнію. Саме на основі цього матеріалу на сьогодні реалізовано більшість багатоелектродних структур, таких як TFT-матриці, РК-дисплеї. Вирішити цю проблему можна шляхом створення повноцінної планарної світловодної структури, яка б включала в себе серцевину та оболонку, безпосередньо в шарі РК-матеріалу. Такий підхід виключає необхідність узгодження оптичних властивостей РК та оточуючих його шарів та дозволяє застосувати вже існуючі багатоелектродні системи для створення принципово нових пристроїв оброблення оптичного сигналу [4–9].

Проведення експериментальних досліджень процесу розповсюдження світла в РК-структурах з електрично-керованим розподілом показника заломлення ускладнюється декількома методологічними аспектами. Так, на відтворюваність експериментальних досліджень має суттєвий вплив спосіб введення випромінювання в шар РК та труднощі стабілізації структури на межі

розділу «рідкий кристал – повітря». Тому перед початком експериментальних досліджень необхідно провести комп'ютерне моделювання процесу розповсюдження світла в таких структурах.

Постановка завдання. Метою роботи – на основі комп'ютерного моделювання процесу «змішування» світлового випромінювання в залежності від вертикального кута розходження джерела світла здійснити оптимізацію основних конструктивних параметрів системи введення випромінювання в планарних структурах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Комп'ютерне моделювання процесу розповсюдження світла в шарах РК із нелінійним характером розподілу показника заломлення проводилось за допомогою спеціалізованого програмного продукту Zemax [9].

Zemax – це програмне забезпечення, яке широко використовується для оптичного моделювання. Програма створена Zemax Development Corporation of Bellevue, Washington (перед тим Focus Software). Вона використовується для моделювання й аналізу оптичних елементів, трасування непрямих променів випадкового світла, поширення випромінювання в рамках фізичної оптики. Програма Zemax використовується для моделювання оптичних систем, зокрема лінз і систем освітлення. За її допомогою можна змодельовати поширення світла через оптичні елементи: лінзи (включаючи асферичні та градієнтні), дзеркала і елементи дифракційної оптики. За допомогою програми Zemax можна змодельовати ефекти оптичних покриттів на поверхнях компонентів і створити стандартні діаграми розподілу інтенсивності для аналізу, зокрема

точкові діаграми та тривимірні графіки. Вона включає розширену бібліотеку асортименту лінз від різноманітних виробників. Особливості поширення світла в межах геометричної оптики будуть корисними там, де необхідно враховувати дифракцію, включаючи поширення лазерних променів, голографію та введення світла до одномодових оптичних волокон. Програма Zemax має потужні засоби для оптимізації моделювання лінз, автоматично коректує параметри для оптимізації продуктивності та зменшення абераций.

Вхідним параметром для проведення моделювання був розподіл напрямку директора (довгої осі молекул) в шарі РК зображений на рис. 1, отриманий під час комп'ютерної симуляції, описаній у роботі [10]. Комп'ютерні симуляції молекулярних моделей виконані за допомогою

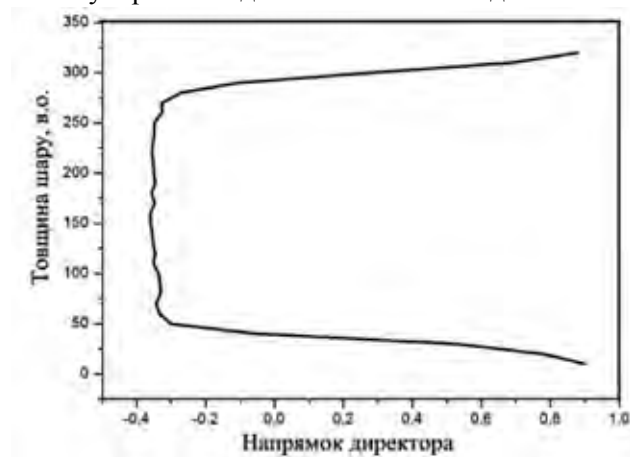


Рис. 1. Розподіл директора в шарі нематичного рідкого кристала, отриманий за результатами комп'ютерного моделювання при $T=500$ К, стаціонарний стан під час прикладення зовнішнього електричного потенціалу

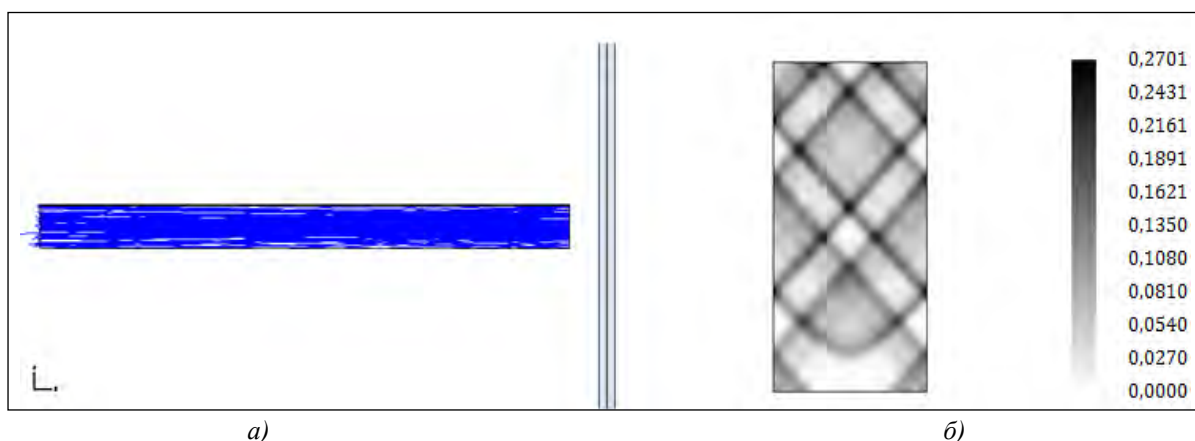


Рис. 2. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, тонке джерело світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 30°

Моделювання проводилось для таких параметрів системи: значення показника заломлення скла – 1,5, РК – 1,65; товщина шару РК – 20 мкм, що дорівнює модельному значенню 300 відносних одиниць (в.о.). Під час моделювання використовувалось монохроматичне джерело випромінювання з довжиною хвилі 0,63 мкм [12].

У ході моделювання не враховувались розсіювальні властивості РК-матеріалів, що відповідає

гомеотропному стану шару немато-холестеричної суміші, а проводився лише просторовий розрахунок ходу променя планарною структурою [13]. Таке спрощення моделі дало змогу проаналізувати принципіву можливість створення оптичних елементів на запропонованих структурах.

Для оптимізації основних конструктивних параметрів системи введення випромінювання у планарних структурах попередньо було проведено

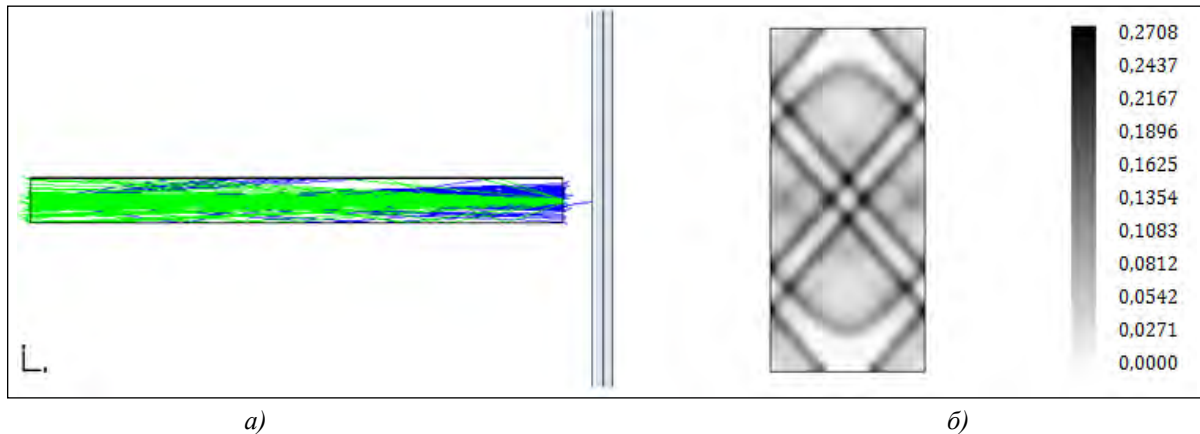


Рис. 3. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, два тонких джерела світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 30°

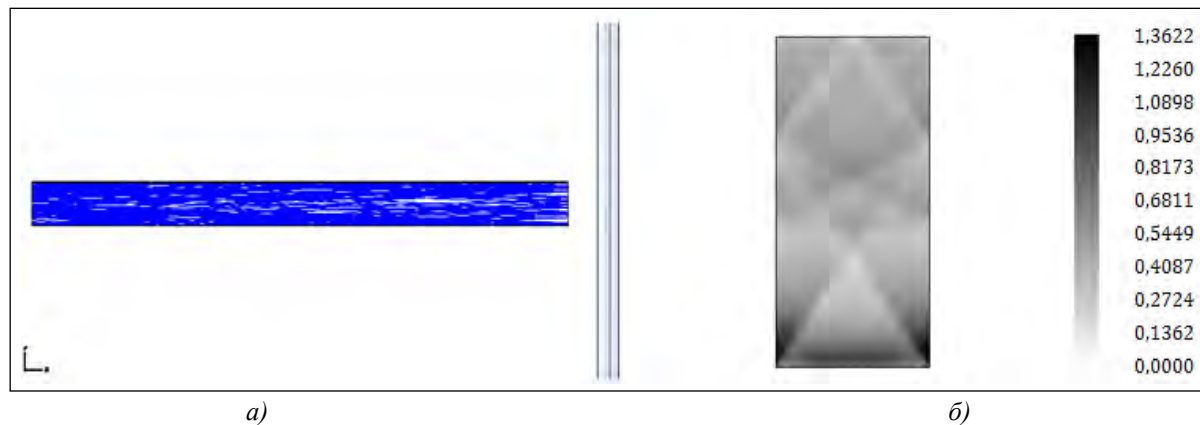


Рис. 4. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, широке джерело світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 30°

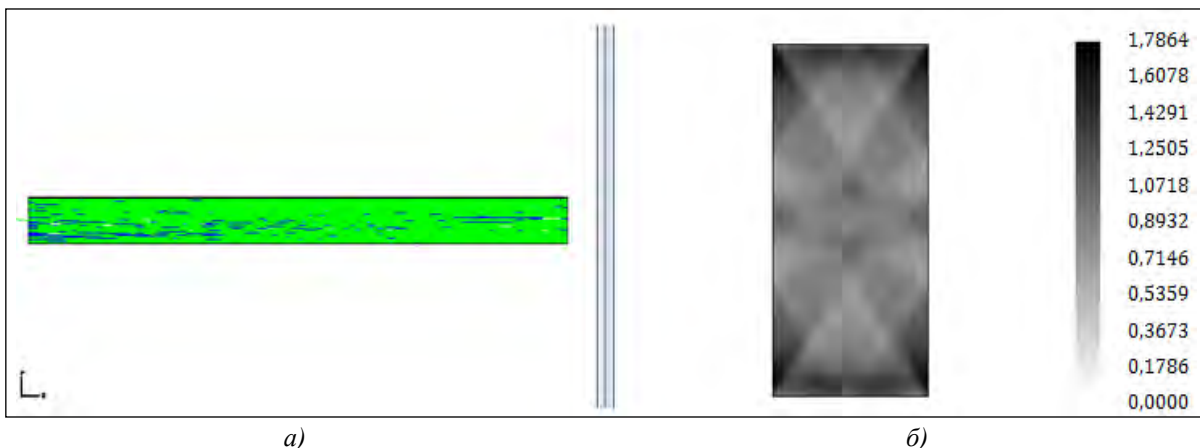


Рис. 5. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, два широких джерела світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 30°

моделювання впливу системи введення світлового потоку на характер розподілу інтенсивності світлового випромінювання, описане в роботі [14]. Із дослідження видно, що двобічне введення випромінювання з широкого протяжного джерела в оптичний елемент забезпечує однорідніший розподіл інтенсивності і призводить до збільшення

області поширення випромінювання оптичним елементом.

Наступним етапом оптимізації конструктивних параметрів системи введення планарних структур було проведення моделювання процесу «змішування» світлового випромінювання в залежності від вертикального кута розходження джерела світла.

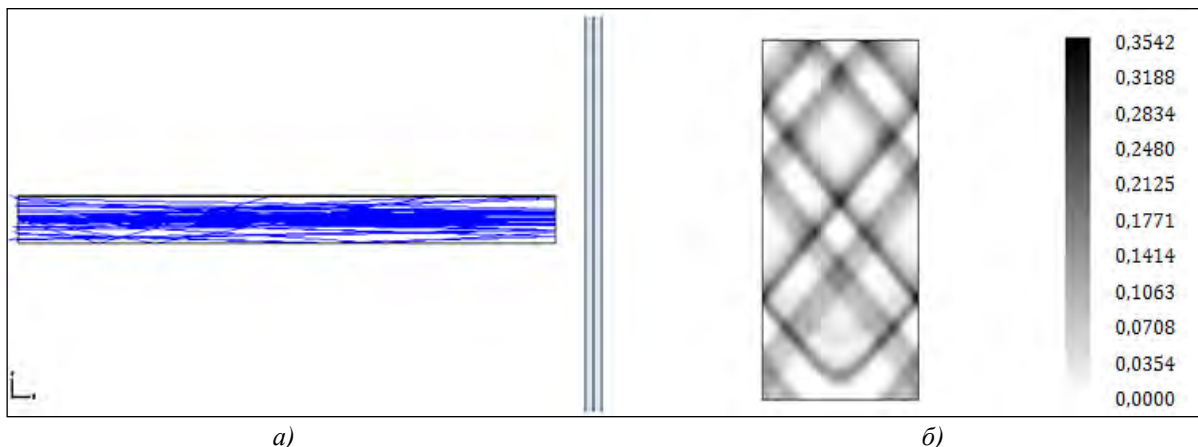


Рис. 6. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, тонке джерело світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 60°

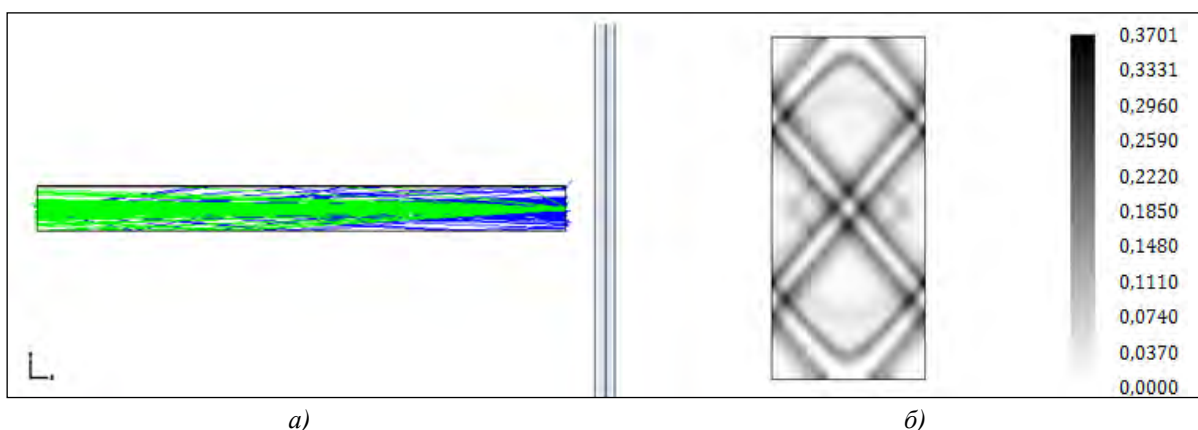


Рис. 7. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, два тонких джерела світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 60°

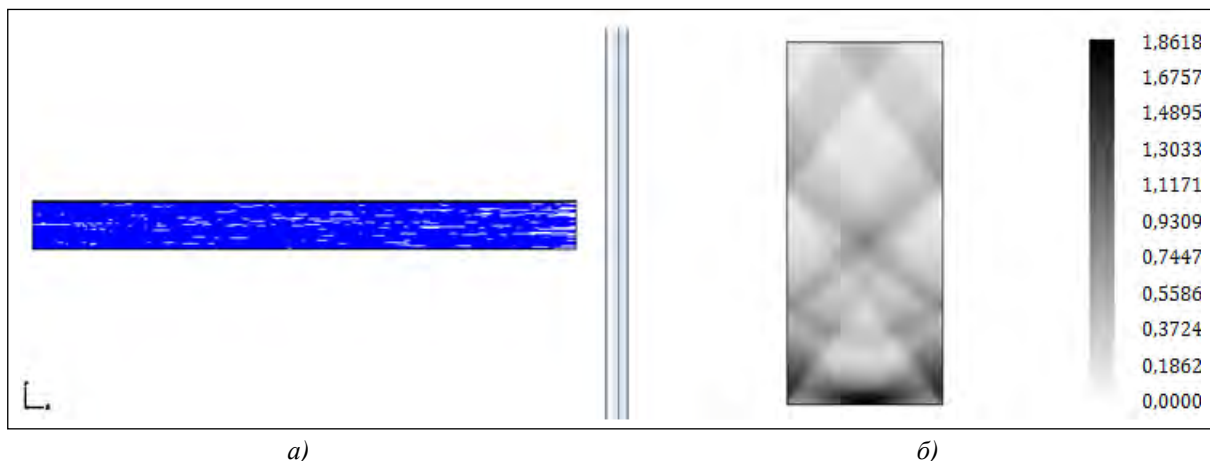


Рис. 8. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, широке джерело світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 60°

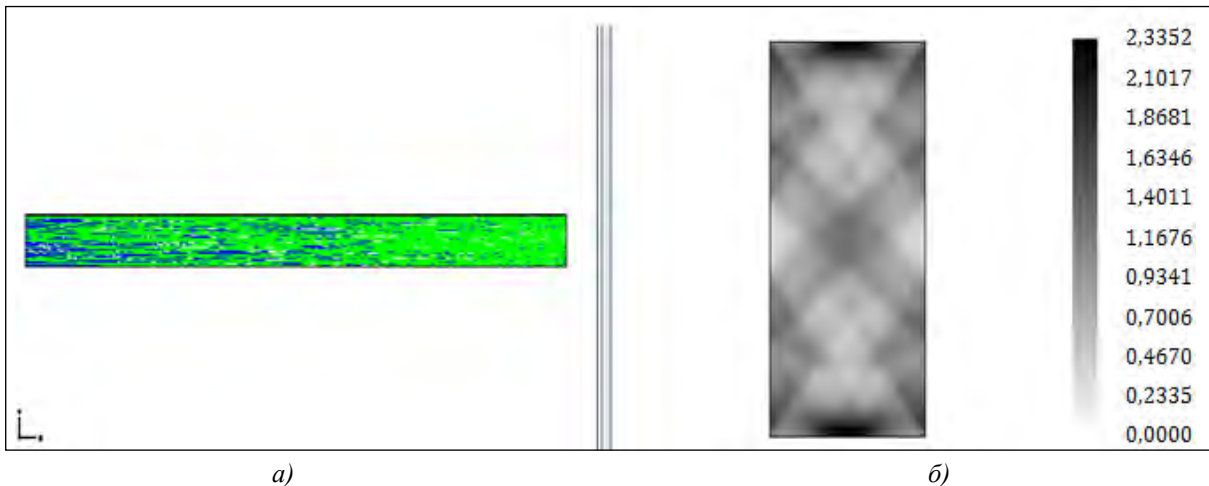


Рис. 9. Хід променів (а) планарною структурою та розподіл інтенсивності (б) на її виході, два широкі джерела світла з вертикальним кутом розходження випромінювання 60°

Світлодіодні джерела світла характеризуються вертикальними та горизонтальними кутами розходження світлового випромінювання. У результаті моделювання отримано характер зміни «змішування» світлового випромінювання при вертикальних кутах розходження світлового випромінювання 30° і 60° для тонких (0,1 мм) і широких (1,5 мм) джерел світла (рис. 2 – 9).

Висновки. У результаті комп'ютерного моделювання процесу «змішування» світлового випромінювання в залежності від вертикального кута

розходження джерела світла визначено, що застосування широкого джерела випромінювання (1,5 мм) з вертикальним кутом розходження 30° забезпечує рівномірніше «змішування» світла у світловоді і дає однорідніший розподіл інтенсивності випромінювання світлового потоку на виході з планарної структури. Результати моделювання підтверджують можливість створення повноцінної планарної світловодної структури, яка б включала в себе серцевину та оболонку, безпосередньо в шарі РК-матеріалу.

Список літератури:

1. Brzdakiewicz K.A., Karpierz M.A., Fratalocchi A. Nematic liquid crystal waveguide arrays. *Opto-Electronics Review*. 2005. № 2. Vol. 13. P. 107–112.
2. Tyszkiewicz C., Pustelny T. Differential interferometry in planar waveguide structures with ferronematic layer. *Optika Applicata*. 2004. № 4. Vol. 34. P. 507–514.
3. Sukhorukov A.A., Kivshar Y.S., Eisenberg H.S. Spatial optical solitons in waveguide arrays. *IEEE J. Quantum Electron.* 2003. Vol. 39. P. 31–50.
4. Kalita W., Gotra O., Sushynskiy O., Ivanytskij V. The multifunctional sensor with an analog indicator. *The international conference on optoelectronic information technologies : Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. 2001. Vol. 4425. P. 465–471.
5. Gotra Z., Gotra O., Mikityuk Z., Zayats R. Fibre-optic sensors on the base of liquid crystals. *Stadnyc Lightguides and their applications: Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. 2000. Vol. 4239. P. 76–81.
6. Mikityuk Z., Lopatynskiy I., Gotra O., Dalanbalar B. Liquid crystal using in optical sensors. *International conference on optoelectronic information technologies : Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. 2001. Vol. 4425. P. 472–477.
7. Hotra Z., Mykytyuk Z., Sushynskyy O. Sensor systems with optical channel of information transferring. *Przegląd elektrotechniczny*. 2010. Vol. 86. P. 21–23.
8. Hotra O., Lopatynskiy I., Yavorskyj B. New electro-optical effect in nematic liquid crystal for integrated optics element. *Optoelectronic and electronic sensors : Proceedings of the society of photo-optical instrumentation engineers (SPIE)*. 2002. Vol. 4425. P. 112–114.
9. Hotra Z. Simulation of influence of limiting surfaces optical characteristics on liquid crystal waveguide properties. Z. Hotra, W. Wójcik, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, V. Kotsun, O. Chaban. The International Conference CADSM 2013. Polyana-Svalyava (Zakarpattya), Ukraine, 19–23 February 2013. P. 82.
10. Коцун В.І. Моделювання процесу формування градієнтного світловоду в шарі нематичного рідкого кристала. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. Харків : НТУ «ХПІ», 2014. № 35(1078). С. 121–126.

11. Ilnytskyi J., Wilson M. A domain decomposition molecular dynamics program for the simulation of flexible molecules of spherically-symmetrical and nonspherical sites. II. Extension to NVT and NPT ensembles. *Computer Physics Communications*. 2002. Vol. 148. P. 43–58.

12. Фечан А., Шимчишин М., Левенець В.. Моделювання процесу розсіювання світла в планарних світловодах з рідкокристалічною серцевиною. *Технічні вісті. Орган Українського інженерного товариства у Львові*. 2007. 1(25), 2(26). С. 130–132.

13. Fechan A., Shymchyshyn M., Levenets. Modeling of the light scattering process in a planar waveguide with liquid crystal core. *Electronika*. 2008. № 6. P. 171–172.

14. Коцун В.І. Моделювання впливу системи введення світлового потоку на характер розподілу інтенсивності світлового випромінювання в планарній структурі. *Науковий журнал «Молодий вчений»*. 2016. № 2(29). С. 117–120.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОГО УГЛА РАСХОДИМОСТИ ИСТОЧНИКА СВЕТА В ПЛАНАРНОЙ СТРУКТУРЕ

Проведено комп'ютерне моделювання процесу змішування світлового излучения в зависимости от вертикального угла расходимости источника света в планарных жидкокристаллических (ЖК) структурах с использованием программного продукта Zemax. Рассмотрен характер изменения процесса смешивания светового излучения при вертикальных углах расходимости светового излучения для тонких и широких источников света. Установлены закономерности между типом источника света с различными вертикальными углами расходимости излучения и однородностью распределения светового излучения, которое попадает в жидкий кристалл. Определен тип источника излучения, обеспечивающий более однородное распределение интенсивности смешанного светового потока. Подтверждена возможность создания полноценной планарной световодной структуры.

Ключевые слова: планарные жидкокристаллические структуры, моделирование, жидкие кристаллы, программный продукт Zemax, распределение светового излучения, источники света.

MODELING OF THE PROCESS FOR LIGHT RADIATION MIXING DEPENDING FROM VERTICAL ANGLE OF LIGHT SOURCE DISSOLUTION IN PLANARIAN STRUCTURE

A computer simulation of the process of light radiation “mixing”, depending from vertical angle of light source dissolution, in the planar liquid crystal structures by using the Zemax software, was carried out. The character of the changes of the process of light radiation “mixing” at vertical angle of light source dissolution for thin and wide light sources is considered. The regularities between of the light source type with different vertical angles of radiation dissolution and the uniformity of the light radiation distribution, which injected into liquid crystal, are established. The type of radiation source is determined, which provides a more uniform distribution of the intensity of the mixed light flow. The possibility of creating a full planar light-guide structure has been confirmed.

Key words: planar liquid crystal structures, modeling, liquid crystals, Zemax software, distribution of light radiation, light source.