

*В роботі розроблено методикку визначення кольірних характеристик органічних світловипромінювальних діодів (OLED). На основі розробленої методики, а також раніше розробленої методики визначення яскравісних та вольт-амперних характеристик органічних світловипромінюючих структур, реалізоване програмне забезпечення для їх обрахунку. Програмна реалізація обрахунків адаптована для операційної системи Windows, не потребуючи спеціальних чи додаткових параметрів комп'ютера*

*Ключові слова: кольірність, ОСВС, OLED, кольорова діаграма, яскравість свічення*

*В работе разработана методика определения цветовых характеристик органических светоизлучающих диодов (OLED). На основе разработанной методики, а также ранее разработанной методики определения яркостных и вольт-амперных характеристик органических светоизлучающих структур, реализовано программное обеспечение для их расчета. Программная реализация вычислений адаптирована для операционной системы Windows, не требуя специальных или дополнительных параметров компьютера*

*Ключевые слова: цветность, ОСВС, OLED, цветная диаграмма, яркость свечения*

УДК 004.89

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43744

# РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОБРАХУНКУ ЕЛЕКТРО-ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНІЧНИХ СВІТЛОВИПРОМІНЮВАЛЬНИХ СТРУКТУР

З. Ю. Готра

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри\*

Х. Б. Іванюк

Аспірант\*

E-mail:hrustunad@gmail.com

М. М. Чапран

Аспірант\*

О. Є. Білас

Кандидат технічних наук, доцент\*\*

О. А. Маланчук\*\*

\*Кафедра «Електронні прилади»\*\*\*

\*\*Кафедра програмного забезпечення\*\*\*

\*\*\*Національний університет

«Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

## 1. Вступ

Одним з перспективних напрямків твердотільної електроніки є органічна електроніка, яка базується на електрофізичних ефектах в органічних напівпровідникових матеріалах. Вже сьогодні створені органічні світловипромінювальні структури, сонячні елементи, транзистори, сенсори та ін. на їх основі [1]. Серед них виділяються органічні світловипромінювальні діоди. Очікується, що загальний світовий ринок фінансування на дослідження та розробку елементів і пристроїв органічної електроніки зросте з \$16 млрд. в 2013 році до \$76 млрд. в 2023 році, основна частина яких припадає на ОСВС (прогноз асоціації Organic and Printed Electronics) [2].

Перспективність використання світловипромінювальних приладів на основі органічних напівпровідників для дисплейних технологій та систем освітлення на сьогодні визначається не тільки високими показниками технічних характеристик, які є близькими до показників традиційних приладів аналогічного при-

значення, а й низькою собівартістю та відносною простою технологічних підходів їх виготовлення. Крім того, до переваг OLED можна віднести можливість їх формування на підкладках довільної форм і розмірів, що випромінюють світло в широкому спектральному діапазоні [3–5].

## 2. Аналіз літературних даних и постановка проблеми

В даний час спостерігається підвищений науково-технічний інтерес до вивчення фізико-хімічних процесів, електрофізичних ефектів в органічних матеріалах, та створення на їх основі нових елементів та пристроїв органічної електроніки. Серед їх різноманіття виділяють електролюмінесцентні органічні світловипромінювальні структури (ОСВС) для оптоелектронних систем. На відміну від неорганічних світловипромінювальних структур, які представляють собою точкові джерела світла, ОСВС – це площинні

світловипромінювальні панелі, в яких випромінювання світла здійснюється рівномірно по всій поверхні, що може забезпечити світіння з поверхонь будь-якої форми та розміру. Вчені досліджують проблеми органічної електроніки а саме підвищення основних електрооптичних характеристик OLED, а саме яскравість свічення та струмова ефективність, зниження напруг живлення [4]. В основному ці характеристики визначаються параметрами органічних напівпровідникових матеріалів. Іншим напрямком досліджень є технологічні підходи та методи створення ОСBC і їх вплив на основні електрофізичні та оптичні характеристики OLED.

Проте, органічні світлодіоди – це площинні, а не точкові джерела світла, тому потребують спеціального підходу і розрахунків їх основних електрооптичних характеристик [5].

В зв'язку з тим, що сертифікація дисплейної продукції та джерел світла на основі OLED вимагають використання спеціалізованого обладнання, яке зазвичай є високовартісне для науковців, що працюють у вузівських лабораторіях, це зумовлює необхідність розробок недорогих експрес вимірювань альтернативних до вищезгаданих [6, 7].

### 3. Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є розроблення експрес – вимірювання основних електрооптичних характеристик OLEDs. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити ряд задач:

- розробка методики визначення кольорних характеристик OLEDs;
- розробка програмного забезпечення для автоматизації обрахунків основних електрооптичних характеристик OLEDs;
- розроблення програмного забезпечення для раніше розробленої методики визначення яскравісних і вольт-амперних характеристик [5].

### 4. Методика розрахунку основних випромінювальних характеристик OLEDs

Як відомо, око людини не однаково реагує на оптичне випромінювання різного кольору. З цієї причини для коректної візуальної кольорної індикації випромінювання слід враховувати спектральну чутливість людського ока до трьох основних кольорів ( $V_x, V_y, V_z$ , рис. 1) [8], що є кількісною мірою кольорового сприйняття ока.

Кольорні координати визначаються з співвідношення (1):

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z}, \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z}, \end{aligned} \quad (1)$$

де X, Y, Z:

$$X = \int \frac{d\Phi}{d\lambda} V_x d\lambda,$$

$$Y = \int \frac{d\Phi}{d\lambda} V_y d\lambda,$$

$$Z = \int \frac{d\Phi}{d\lambda} V_z d\lambda, \quad (2)$$

де  $\Phi(\lambda)$  – нормована спектральна характеристика випромінювання OLED.

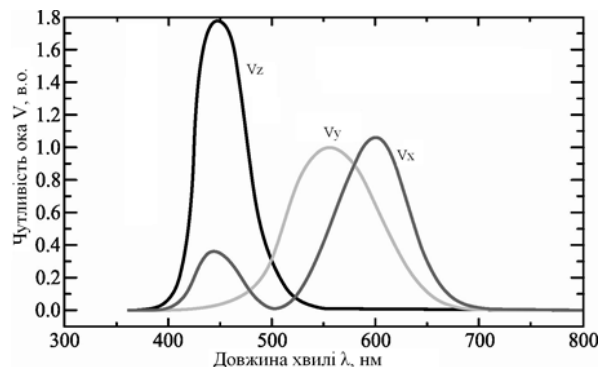


Рис. 1. Спектри кольорової чутливості людського ока

Колір джерела світла задається за допомогою координат на двовимірному графіку (рис. 2).

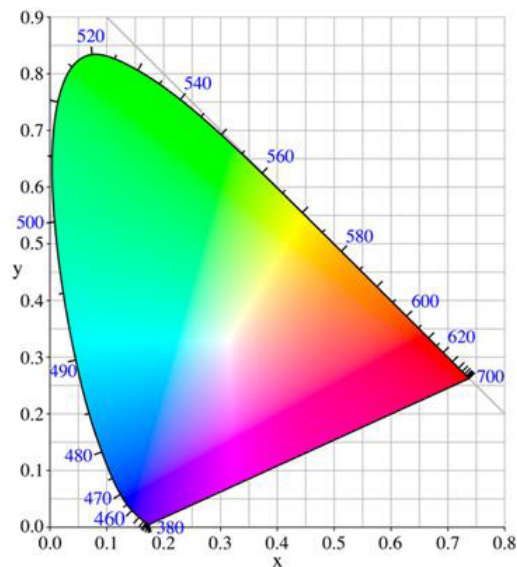


Рис. 2. Діаграма кольорності

Крім координат кольорності для стандартизації OLED необхідна інформація про кольорну температуру. Кольорна температура вказує лише на спектральний розподіл енергії випромінювання і виражається в Кельвінах [4].

Лінії постійної кольорної температури в площині (x,y) кольорової діаграми показані на рис. 3, а, б.

Яскравість можна розрахувати за допомогою співвідношення [8]:

$$L = K_r V_{diode} \frac{S_{max}}{FF} \frac{D^2}{\tau A_L A_{diode}}, \quad (3)$$

де  $A_L$  – площа OLED;  $A_{diode}$  – площа фотодіода;  $\tau$  – вікно прозорості (здебільшого дорівнює 1); D – від-

стань між фотодіодом і OLED;  $K_r$  – складова для перетворення радіометричної величини у фотометричну, розраховується за формулою:

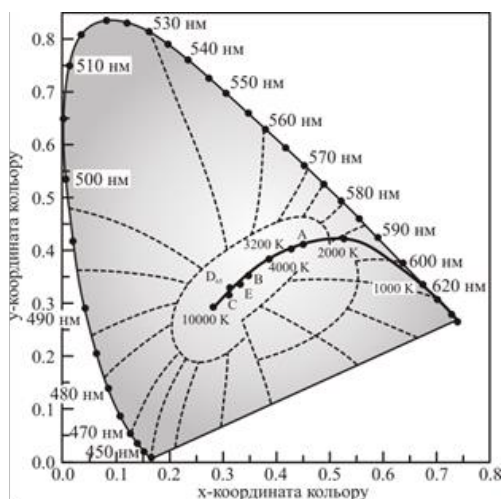
$$K_r = \frac{\Phi_v}{\Phi} = K_m \frac{\int_{380}^{770} \Phi(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi(\lambda)d\lambda}, \tag{4}$$

де  $\Phi(\lambda)$  – спектральна функція OLED, яка попередньо вимірюється експериментально спектрометром та залежить від спектра випромінювання OLED;  $V(\lambda)$  – фотонна функція (крива спектральної чутливості ока);  $K_m$  – константа, максимальна спектральна світлова ефективність 683 лм/Вт.

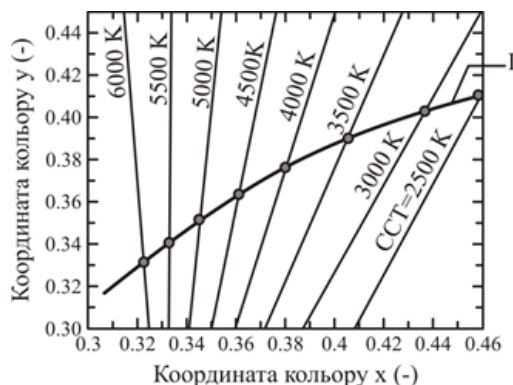
FF – коефіцієнт заповнення (fill-factor), який порівнює спектр випромінювання OLED зі спектральною залежністю чутливості фотодіода:

$$FF = \frac{\int \Phi(\lambda)S_{r_{diode}}(\lambda)d\lambda}{\int \Phi(\lambda)}, \tag{5}$$

де  $S_{r_{diode}}(\lambda)$  – спектральна функція фотодіода.



а



б

Рис. 3. Діаграма кольорності: а – хроматична діаграма з довжинами хвиль кольорів; б – лінії постійної кольорної температури в площині кольорової діаграми

### 5. Програмна реалізація методик обрахунку електрооптичних характеристик OLED

Програмна реалізація обрахунків розроблена для операційної системи Windows, забезпечує коректність та точність обрахунків, а також зручний інтерфейс для ефективного вирішення проблеми обчислень для даної платформи. Для ефективної роботи програми необхідно встановити табличний редактор MS Office Excel 2003–2010. Це дозволяє швидко завантажувати вхідні дані шляхом використання буфера обміну у файл (.xls) Excel. Вхідними даними є спектр OLED. У разі відсутності встановленої програми Excel є можливість відкрити файл (.xls) безпосередньо програмою обрахунків за розташуванням на комп'ютері. Тому змодельовано поля для вводу шляху до файлу на диску, та поле для введення потрібного «листа». Відкриття усіх констант реалізовано автоматично після запуску програми, що зменшує навантаження на користувача продукту. Також є можливість змінювати та коректувати значення констант, що робить програму більш гнучкою при обрахунках. Після цього програма готова до обчислень. Вибравши потрібну операцію, а саме обрахунок яскравісних чи кольорних характеристик, програма обраховує їх та виводить результат на екран у вигляді результуючих значень. Програма має можливість згортати чи розгортати таблиці з константами і результатами проміжних обчислень, що покращує зручність інтерфейсу. На рис. 4 показано структурну схему програмного забезпечення обрахунків вимірювань яскравісних і кольорних характеристик OLED.

Для створення програмної реалізації використано мову C#, це об'єктно-орієнтована мова програмування з безпечною системою типізації для платформи .NET [9]. Станом на сьогодні C# визначено флагманською мовою корпорації Microsoft, бо вона найповніше використовує нові можливості .NET. Як технологію для розробки інтерфейсу, було обрано Windows Forms. Windows Forms – інтерфейс програмування додатків (API), що відповідає за графічний інтерфейс користувача і є частиною Microsoft .NET Framework [10]. У якості технології для завантаження вхідних даних було вибрано OleDbConnection клас [11]. Об'єкт OleDbConnection представляє унікальне підключення до джерела даних. Засобом розробки використано середовище MS VisualS tudio 2013.



Рис. 4. Структурна схема програми

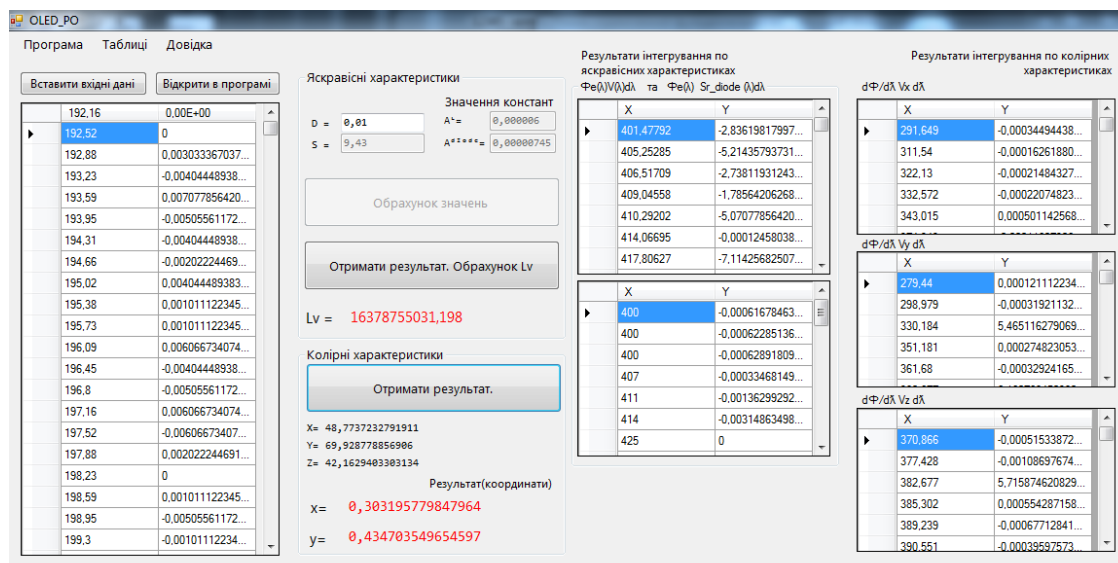


Рис. 5. Світлина екрану з виконанням програми

На рис. 5 наведено приклад вікна програми із завантаженими вхідними даними та результатами обчислень. Подальше вдосконалення програмного рішення передбачає можливість експортування, зберігання та відображення сукупності результатів на графіках.

## 6. Висновки

У статті показана розробка адаптованої методики визначення колірних характеристик для органічних світловипромінюючих пристроїв(OLEDs), що дає можливість обрахунку площинних джерел світла. Розроблено програмне рішення для автоматизованого обрахунку основних електрооптичних

характеристик OLEDs, включаючи також обрахунок раніше розробленої методики визначення яскравісних і вольт-амперних характеристик OLEDs .

Для створення програмної реалізації використано мову C#, як технологію для розробки інтерфейсу було обрано Windows Forms, яка є частиною операційної системи Windows, в свою чергу є загальною доступною, а отже не потребує додаткових параметрів системи чи спеціалізованого програмного забезпечення для її встановлення та обслуговування. Розроблене програмне забезпечення забезпечує коректність та точність обрахунків, а також вирішує проблему експрес вимірювань основних світлових характеристик для площинних світловипромінюючих структур.

## Література

1. Bulovic, V. Transparent light-emitting devices [Text] / V. Bulovic, G. Gu, P. E. Burrows, S. R. Forrest, M. E. Thompson // Nature. – 1996. – Vol. 380, Issue 6569. – P. 29. doi: 10.1038/380029a0
2. Organic and Printed Electronics [Electronic resource] / Available at: <http://www.oe-a.org/roadmap>
3. Fyfe, D. Organic displays come of age [Text] / D.Fyfe // Nature Photonics. – 2009. – Vol. 3, Issue 8. – P. 453-455. doi: 10.1038/nphoton.2009.132
4. Сорокин, В. М. Органические светоизлучающие структуры - технологии XXI века [Текст] / В. М. Сорокин та ін. // Технотология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 1. – С. 3–9.
5. Cherpak, V. Efficient “Warm-White” OLEDs Based on the Phosphorescent bis-Cyclometalatediridium(III) Complex [Text] / V. Cherpak, P. Stakhira, B. Minaev, G. Baryshnikov, E. Stromylo , I. Helzhynskyy, et. al. // The Journal of Physical Chemistry C. – 2014. – Vol. 118, Issue 21. – P 11271–11278. doi: 10.1021/jp503437b
6. Готра, З. Ю. Розробка схематехнічного рішення для автоматичного регулювання яскравості свідчення органічних світлодіодів [Текст] / З. Ю. Готра, В. В. Черпак, П. Й. Стахіра, Х. Б. Іванюк, Г. І. Барило, І. І. Гельжинський // Східно-європейський журнал пекредових технологій. – 2013. – Т. 6, № 12 (66). – С. 99–103. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/19688/17580>
7. Schubert, E. F. Light-emitting diodes - An introduction” Encyclopedia of Electrical Engineering [Text] / E. F. Schubert, J. N Miller; J. G. Webster (Ed.). – John Wiley and Sons, New York, 1999. – 326 p.
8. Вуйцік, В. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Науково-навчальне видання. 3 том., кн. 1. [Текст] / В. Вуйцік, З. Ю. Готра, О. З. Готра, В. В. Григор'єв, В. Каліта, О. М. Мельник, Є. Потенцік, В. В. Черпак; за ред. З. Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. – 250 с.
9. CSharp (programminglanguage) [Electronic resource] / Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/C\\_Sharp\(programming\\_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp(programming_language))
10. MSDN, WindowsForms [Electronic resource] / Available at: <http://www.codenet.ru/progr/cpp/WinForms.php>
11. MSDN, OleDb [Electronic resource] / Available at: <http://msdn.microsoft.com/ru-RU/library/system.data.oledb.oledbconnection.aspx>