

УДК 628.987

В. Андрійчук, докт. техн. наук; Я. Осадца

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИЗНАЧЕННЯ СВІТЛОРОЗПОДІЛУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА З ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЇВ З ЛІНІЙНИМИ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

Резюме. Проведено аналіз конструкцій сканувальних пристроїв. Побудовано математичну модель для визначення кривої світлорозподілу напівпровідникових джерел світла за допомогою планшетних сканувальних пристроїв з підсвіткою об'єкта сканування. Проведено вимірювання кривої світлорозподілу світлодіода марки EDEW-3LS6-B3 з допомогою сканерів Mustek BearPaw 2448TA Plus та EPSON PERFECTION V30.

Ключові слова: світлодіод, світлорозподіл, лінійний оптичний перетворювач, сканувальний пристрій, освітленість, Y-компонента, яскравість.

V. Andriychuk; Y. Osadtsa

MEASURING OF LIGHT DISTRIBUTING OF SEMICONDUCTOR LIGHT SOURCES WITH HELP OF DEVICES WITH LINEAR TRANSFORMERS OF LIGHT

The summary. The analysis of constructions of scan devices is done. The mathematical model for measuring of light distributing curve of semiconductor light sources by plane-table scanners with illuminating from beneath is developed. The measuring of light distributing curve for light emitting diode EDEW-3LS6-B3 with help of scanners Mustek BearPaw 2448TA Plus and EPSON PERFECTION V30 is done

Key words: light emitting diode, light distributing, linear optical transformer, scan device, luminosity, Y-component, brightness.

Аналіз публікацій та актуальність проблеми. Основними перевагами напівпровідникових джерел світла є: висока світлова віддача, тривалий термін служби, відсутність ПРА, екологічність. Ці переваги роблять можливим використання світлодіодів не лише в сигнальних системах, але й в освітлювальних установках зовнішнього і внутрішнього освітлення [1, 2].

Основними світлотехнічними параметрами світлодіодів є: світловий потік, осьова сила світла і кут випромінювання.

Найважливішим світлотехнічним параметром світлодіодів є світловий потік, проте він вказується не завжди. Частіше в каталогах задається осьова сила світла і кут випромінювання, тобто кут, на границях якого сила світла складає половину осьової [3–5].

Вимірювання осьової сили світла виконують на фотометричній лаві для двох стандартних відстаней, введених МКО. Для геометрії "А" відстань складає 316 мм, для геометрії "В" – 100 мм [3, 6].

Просторовий розподіл сили світла отримують за допомогою гоніофотометричної установки, що складається з поворотної і вимірювальної головок і системи електроприводу. Найпоширенішим способом вимірювання світлового потоку є вимірювання в інтегральному фотометрі. У зв'язку з невеликими розмірами світлодіодів можливим є використання фотометричної кулі малого діаметра 25...35 см [6]. Виникає необхідність у створенні нових комплексних методів вимірювань фотометричних характеристик напівпровідникових джерел світла.

З появою матричних оптичних перетворювачів і фотокамер на їх основі з'явилася можливість їх використання для світлотехнічних вимірювань. Ці вимірювання відрізняються від традиційних способів оперативністю, підвищеною точністю, можливістю комп'ютерної обробки і записування інформації [7]. При використанні в якості вимірювальних пристроїв фотокамер з матричними оптичними перетворювачами отримуються двовимірні зображення світних поверхонь.

Двовимірні зображення можна також отримати за допомогою лінійного оптичного перетворювача. Для цього необхідно проводити сканування оптичного поля, де знаходиться об'єкт. Це відбувається шляхом механічного переміщення лінійного оптичного перетворювача відносно однієї координати. Основними перевагами пристроїв з такими фотоперетворювачами є простота та дешевизна, порівняно з цифровими фотокамерами [8]. Тому **актуальною** є проблема використання скануючих пристроїв для визначення світлового розподілу та інших світлотехнічних параметрів світлодіодів.

Мета роботи. Розробити конструкцію сканувального пристрою та провести його випробування з напівпровідниковими джерелами світла. Побудувати математичну модель, яка б дозволяла по отриманих зображеннях проводити розрахунок світлорозподілу світлодіодів.

Вибір конструкції сканувального пристрою. В [9, 10] приведено класифікацію сканувальних пристроїв, яка наведена в таблиці 1. Сканувальні пристрої класифікують за механізмом сканування, за типом зображення та за ступенем прозорості оригінала.

Таблиця 1. Класифікація сканувальних пристроїв

<i>Підгрупа сканувальних пристроїв</i>	<i>Особливості</i>
За механізмом сканування	
Ручні	Принцип роботи полягає в ручному переміщенні скануючого елемента вздовж об'єкта сканування
Протяжні	Здійснюється переміщення оригінала відносно світлочутливого елемента
Планшетні	Скануючий елемент переміщується відносно оригінала з допомогою крокового двигуна
Проекційні	Скануючий елемент рухається у фокальній площині об'єктива, а не разом з об'єктивом
Барабанні	Оригінал розміщується на прозорому барабані, який обертається з високою швидкістю
За типом зображення	
Line Art	Передавання в ПК чорно-білих зображень
Grayscale	Передавання в ПК півтонових зображень
True Color	Передавання в ПК кольорових зображень
За ступенем прозорості оригінала	
Непрозорі оригінали	Зображення формується шляхом відбивання світла від оригіналу
Прозорі оригінали	Оптична схема скануючого пристрою обробляє світло, яке пройшло через оригінал

Найдоцільнішим для світлотехнічних вимірювань є використання планшетних сканерів, у яких скануючий елемент переміщується відносно оригінала з допомогою крокового двигуна. В планшетних сканерах отримуються зображення двома способами:

- 1) оптична система скануючого пристрою складається з системи дзеркал та об'єктива, які проєктують зображення на поверхню перетворювача;
- 2) контактним давачем зображення.

Побудова математичної моделі. Розглянемо випадок, коли світлодіод розташований на деякій відстані h_0 від екрана з дифузним розсіюнням світла (рис. 1).

Освітленість на поверхні оптичного перетворювача E_2 визначимо за формулою [11]

$$E = \tau \cdot \frac{\Delta S_{e.o.}}{(f+d)^2} \cdot \cos^4 \theta \cdot L, \quad (1)$$

де τ – коефіцієнт пропускання оптичної системи сканувального пристрою; $\Delta S_{e.o.}$ – вхідний отвір оптичної системи; L – яскравість елемента ΔS_1 у напрямку оптичної системи.

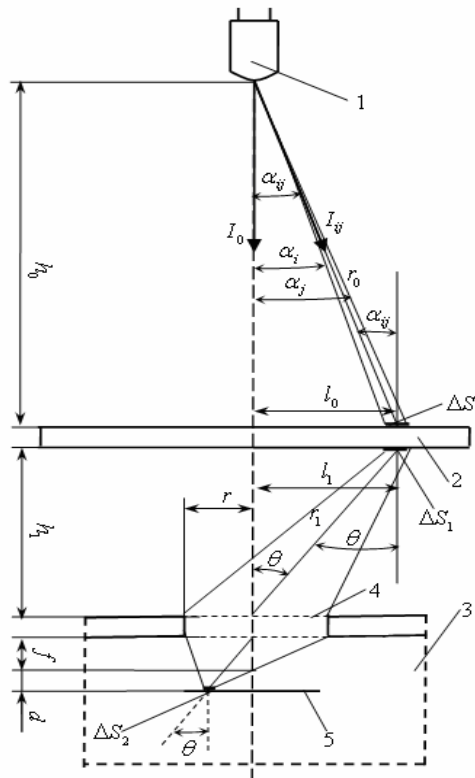


Рисунок 1. Модель системи: світлодіод – екран – скануючий пристрій (1 – досліджуваний світлодіод; 2 – екран; 3 – скануючий пристрій; 4 – вхідний отвір оптичної системи; 5 – оптичний перетворювач)

Світловий потік, що падає на вхідний отвір оптичної системи, визначимо за формулою [12]

$$\Delta\Phi_1 = L \cdot \frac{\Delta S_1 \cdot \Delta S_{e.o.} \cdot \cos^2 \theta}{r_1^2} = L \cdot \frac{\Delta S_1 \cdot \Delta S_{e.o.} \cdot \cos^4 \theta}{h_1^2}.$$

Звідси яскравість L

$$L = \frac{\Delta\Phi_1 \cdot h_1^2}{\Delta S_1 \cdot \Delta S_{e.o.} \cdot \cos^4 \theta}. \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1), отримаємо

$$E = \tau \cdot \left(\frac{h_1}{f+d} \right)^2 \cdot \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta S_1}, \quad (3)$$

З іншого боку, світловий потік $\Delta\Phi_1$ складається зі світлового потоку, що пройшов крізь екран від СД, та світлового потоку, який випромінюється підсвіткою, відбитого від елемента поверхні екрана ΔS_1

$$\Delta\Phi_1 = \tau_0 \cdot \Delta\Phi_0 + \rho \cdot E_1 \cdot \Delta S_1, \quad (4)$$

де τ_0 – коефіцієнт пропускання екрана; $\Delta\Phi_0$ – світловий потік, що попав на елемент екрана від досліджуваного СД; ρ – коефіцієнт відбивання екрана; E_1 – освітленість екрана, створена підсвіткою.

Для визначення $\Delta\Phi_0$ виділимо елементарний малий тілесний кут $\Delta\Omega_\alpha$, утворений двома конічними поверхнями з кутами розкриття α_i та α_j , причому $\Delta\alpha = \alpha_j - \alpha_i \rightarrow 0$. Будемо вважати, що сила світла в межах $\Delta\alpha$ залишається сталою ($I_{ij} = const$). Нехай даний тілесний кут опирається на частину сфери з радіусом h_0 (рис. 2).

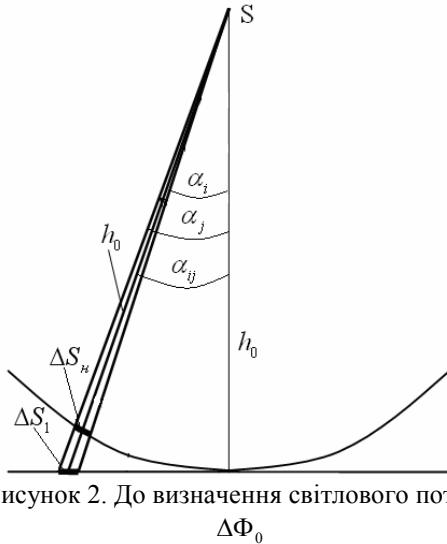


Рисунок 2. До визначення світлового потоку $\Delta\Phi_0$

Світловий потік, що випромінюється з джерела світла, розміщеного в точці S та попадає на елемент сферичної поверхні площею ΔS_n визначимо за формулою

$$\Delta\Phi_0 = I_{ij} \cdot \Delta\Omega_\alpha = I_{ij} \cdot \frac{\Delta S_n}{h_0^2}. \quad (5)$$

Даний світловий потік дорівнює світловому потоку, що падає на елемент ΔS_1 , площа якого дорівнює [13]

$$\Delta S_1 = \frac{\Delta S_n}{\cos \alpha_{ij}}. \quad (6)$$

Визначивши з рівняння (6) значення для ΔS_n та підставивши в (5) отримаємо

$$\Delta\Phi_0 = I_{ij} \cdot \frac{\Delta S_1}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij}. \quad (7)$$

Тоді формула (4) матиме вигляд

$$\Delta\Phi_1 = \tau_0 \cdot I_{ij} \cdot \frac{\Delta S_0}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} + \rho \cdot E_1 \cdot \Delta S_1. \quad (8)$$

Для нескінченно малого $\Delta\Omega_\alpha$ можна вважати, що промені в межах $\Delta\Omega_\alpha$ є паралельними. Розглядаючи екран як плоскопаралельну пластину, будемо вважати, що $\Delta S_0 = \Delta S_1$. Врахувавши це та підставивши рівняння (8) у рівняння (3), отримаємо вираз для освітленості оптичного перетворювача

$$E = \tau \cdot \left(\frac{h_1}{f+d} \right)^2 \cdot \left(\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cos \alpha_{ij} + \rho \cdot E_1 \right). \quad (9)$$

Проведемо заміну $\tau \cdot \left(\frac{h_1}{f+d} \right)^2 = k$, тоді

$$E = k \cdot \left(\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} + \rho \cdot E_1 \right). \quad (10)$$

Освітленість оптичного перетворювача E_o в зоні осьової сили світла визначимо за формулою

$$E_o = k \cdot \left(\tau_0 \cdot \frac{I_o}{h_0^2} + \rho \cdot E_1 \right), \quad (11)$$

де I_o – осьова сила світла досліджуваного світлодіода.

В попередніх роботах [7, 14] встановлено, що яскравість зображення, отриманого за допомогою пристрою з оптико-електронним перетворювачем та представленого в sRGB-системі, розраховуємо за формулою

$$Y = 0,21 \cdot R + 0,72 \cdot G + 0,07 \cdot B, \quad (12)$$

де R, G і B – відповідно червона, зелена та синя складові.

Відомо, що яскравість цифрового зображення змінюється лінійно залежно від освітленості оптоелектронного перетворювача в зоні зображення [11, 15]. Отже, її можна задати як функцію. Звідси освітленість

$$Y(E) = a \cdot E + b. \quad (13)$$

Підставимо рівняння (10) в рівняння (13)

$$Y = a \cdot k \cdot \left(\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} + \rho \cdot E_1 \right) + b. \quad (14)$$

Розглянемо рівняння (14) при вимкненому досліджуваному світлодіоді. В ньому $Y = Y_1$ та $\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} = 0$:

$$Y_1 = a \cdot k \cdot \rho \cdot E_1 + b.$$

Розв'язавши останнє рівняння відносно E_1 , отримаємо

$$E_1 = \frac{Y_1 - b}{a \cdot k \cdot \rho}. \quad (15)$$

Підставимо (15) в (10)

$$Y = a \cdot k \cdot \left(\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{r_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} + \frac{Y_1 - b}{a \cdot k} \right) + b. \quad (16)$$

У рівнянні (16) виразимо $\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij}$:

$$\tau_0 \cdot \frac{I_{ij}}{h_0^2} \cdot \cos \alpha_{ij} = \frac{1}{a \cdot k} (Y - Y_1). \quad (17)$$

Для осьової сили світла рівняння (17) набуде вигляду

$$\tau_0 \cdot \frac{I_o}{h_0^2} = \frac{1}{a \cdot k} (Y_o - Y_1), \quad (18)$$

де Y_o – рівень яскравості, що відповідає освітленості E_o .

Поділивши (17) на (18), отримаємо вираз для визначення кривої світлорозподілу у відносних одиницях

$$\frac{I_{ij}}{I_o} = \frac{1}{\cos \alpha_{ij}} \cdot \frac{Y - Y_1}{Y_o - Y_1}. \quad (19)$$

Результати вимірювань. Використовуючи дану математичну модель, проведено вимірювання світлорозподілу світлодіода марки EDEW-3LS6-B3, характеристики якого наведено в таблиці 2 [16].

Таблиця 2. Характеристики світлодіода EDEW-3LS6-B3

Марка СД	Номінальний струм, мА	Номінальна температура навколишнього середовища, °С	Мінімальний світловий потік, лм	Номінальний світловий потік, лм
EDEW-3LS6-B3	700	25	120	190

Вимірювання проводили на установці, схема якої наведена на рис. 3. Дана установка складається зі сканувального пристрою (1) зі скануючим елементом (2). Світлодіод 3 вміщували в бокс 4 з світлонепроникними стінками та світлорозсіюючим екраном 5. Відстань до екрана становила 100 мм. Коефіцієнт відбивання стінок боксу був близький до нуля.

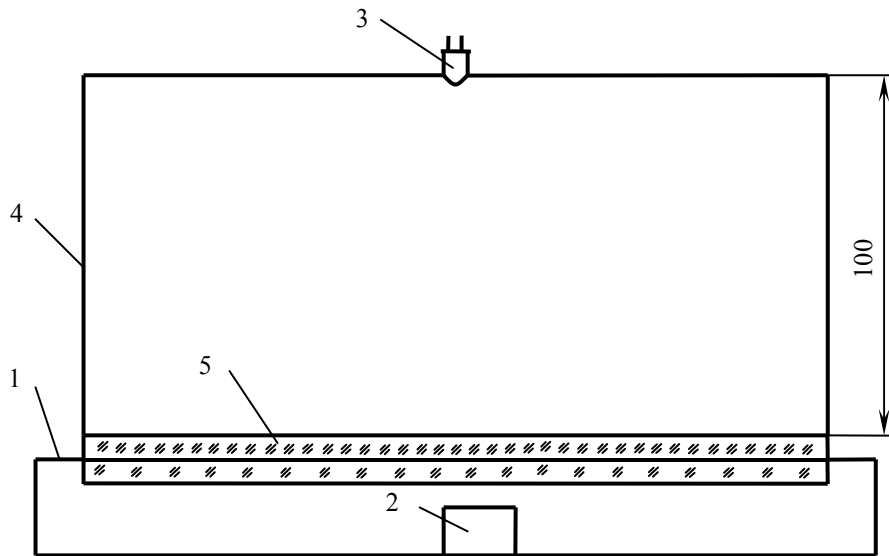


Рисунок 3. Схема установки для визначення світлорозподілу напівпровідникових джерел світла

В якості сканувальних пристроїв використовували сканери Mustek BearPaw 2448TA Plus та EPSON PERFECTION V30.

Зображення, отримані шляхом сканування, представлялись у вигляді таблиць у пакеті MATLAB. За даними таблицями за формулою (12) розраховували яскравість зображення. За даною яскравістю за формулою (19) знаходили світлорозподіл досліджуваного світлодіода.

На рисунку 4 наведено криві світлорозподілу світлодіода EDEW-3LS6-B3.

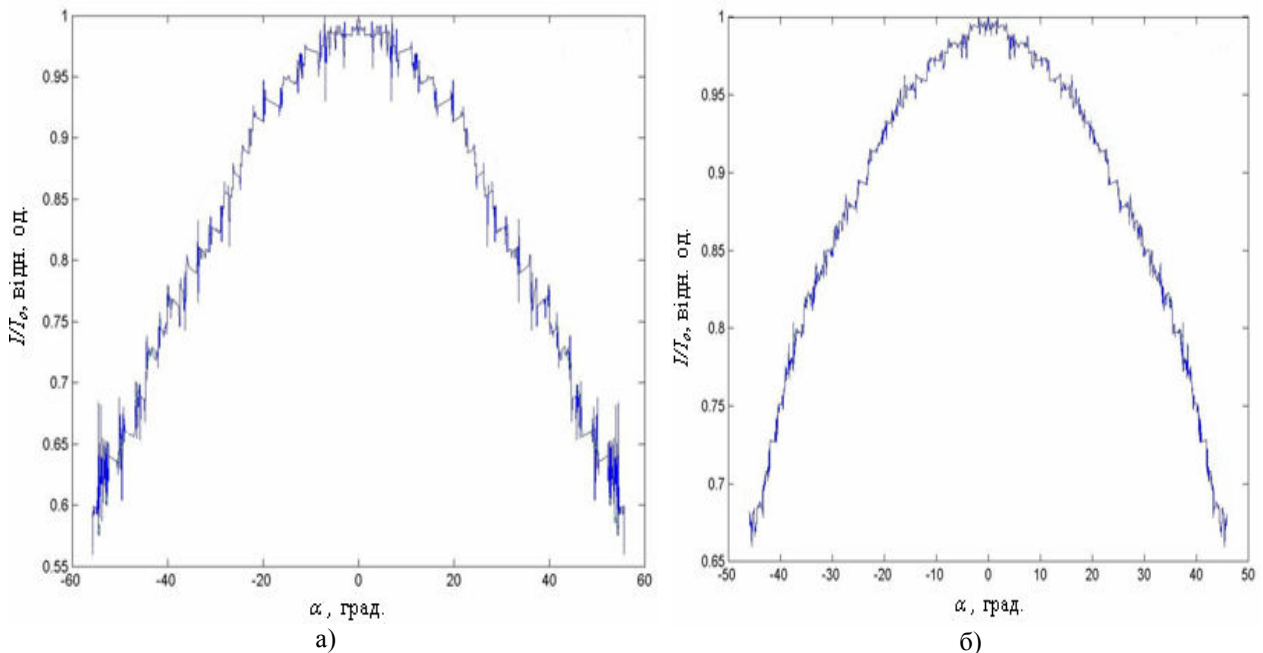


Рисунок 4. Криві світлорозподілу СД EDEW-3LS6-B3, отримані з допомогою Mustek BearPaw 2448TA Plus

(а – поздовжня площина, б – поперечна площина)

За даними вимірювань обчислено абсолютну середньоквадратичну та максимальну відносну похибки, які наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Похибки вимірювань кривої світлорозподілу EDEW-3LS6-B3

Марка сканера	Площина	Абсолютна похибка	Відносна похибка, %
EPSON PERFECTION V30	Поздовжня	0,0167	2,8392
	Поперечна	0,0306	4,4752
Mustek BearPaw 2448TA Plus	Поздовжня	0,0247	4,4158
	Поперечна	0,0169	2,5623

Висновки. Проведено аналіз конструкцій сканувальних пристроїв з лінійними оптичними перетворювачами. Встановлено, що для визначення світлорозподілу напівпровідникових джерел світла найбільш придатними є планшетні сканери. Побудовано математичну модель оптичної системи для визначення кривої світлорозподілу напівпровідникових джерел світла за допомогою планшетних сканувальних пристроїв з підсвіткою сканування. Проведено вимірювання кривої світлорозподілу світлодіодів з допомогою сканерів Mustek BearPaw 2448TA Plus та EPSON PERFECTION V30 та визначено похибки вимірювань.

Література

1. Говоров, Ф.П. Разработка светодиодных источников света для систем внутридомового освещения [Текст] / Ф.П. Говоров, Н.И. Носанов, Т.И. Романов // Світлолюкс. – 2010. – №1 – С. 55–59.
2. Билунд, Л. Проект «Светодиоды для общего освещения» [Текст] / Л. Билунд // Светотехника. – 2010. – № 5. – С. 4–5.
3. Справочная книга по светотехнике: 3-е изд., перераб. и доп. [Текст]; под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Коган, Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды [Текст] / Л.М. Коган – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
5. Колотюк, А.П. Моделювання світлових приладів на основі світлодіодів [Текст] / А.П. Колотюк, В.О. Шевченко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 24–30.
6. Шин, О.Г. Особливості фотометрії світлодіодів [Текст] / О.Г. Шин, В.А. Андрійчук // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. – № 4. – С. 19–23.
7. Андрійчук, В. Вимірювання світлотехнічних характеристик світних об'єктів за допомогою фотокамер з матричними оптичними перетворювачами [Текст] / В. Андрійчук, Я. Осадца // Вісник ТНТУ. – 2011. – Том 16. – № 1. – С.126–132 (приладобудування та інформаційно-вимірювальні технології).
8. Осадца, Я.М. Матричні перетворювачі світла з цифровим представленням сигналу [Текст] / Я.М. Осадца, Р.Й. Ріпещький // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. – №4(20). – С. 4–8.
9. Бортник, Г.Г. Засоби оргтехніки: навчальний посібник [Текст] / Г.Г. Бортник, В.М. Кичак, О.В. Стальченко. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 198 с.
10. Ілюстрований самовчитель по Adobe Photoshop CS [Електронний ресурс] // Uasentli.Info – Самовчитель по Photoshop. – [Цит. 2011, 6 жовтня]. – Режим доступу: <http://uasentli.info/index.html>.
11. Яне, Б. Цифровая обработка изображений [Текст] / Б. Яне; пер. с англ. А.М. Измайловой. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.
12. Мешков, В.В. Основы светотехники: учеб. пособие для вузов Ч1. [Текст] / В.В. Мешков [2-е изд., перераб.]. – М.: Энергия, 1979. – 368 с., ил.
13. Гуревич, М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы) [Текст] / М.М. Гуревич [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с., ил.
14. Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Сб. науч. тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф., (Саранск, 25–26 ноября 2010 г.) [Текст] / редкол.: Л.В. Абрамова (отв. ред) и др. – Саранск: СВМО, 2010. – 320 С.
15. Пресс, Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью [Текст] / Ф.П. Пресс. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с.: ил.
16. Datasheet S-Series 6 [Електронний ресурс] // SIMOS ELEKTRONIK VERTRIEBS GMBH. – [Цит. 2011, 31 березня]. – Режим доступу: http://www.simos.de/Edixon_6_Series_Eng_v1.pdf.