

**НАБЛИЖЕНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ КРИВОЇ СИЛИ  
СВІТЛА СВІТИЛЬНИКІВ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ**

*Розроблено наближений метод побудови кривої сили світла світильників, зокрема вуличного освітлення, в основу якого покладено вимірювання освітленості в площинах, що перпендикулярні центральній вісі світильника в визначених точках і дозволяє попередньо оцінити світлотехнічні характеристики світильників в процесі їх проектування або енергоаудиту діючої системи освітлення.*

*Ключові слова:* крива сили світла, люксметр, фотометр, освітленість, меридіанна площина.

O.V. BABENKO, V.V. ZAHAROV, A.A. VYDMYSH  
Vinnitsa National Technical University

**APPROXIMATE METHOD OF LUMINOUS INTENSITY DISTRIBUTION  
CURVE PLOTTING FOR STREET LIGHTING LAMPS**

*The approximate method of luminous intensity distribution curve plotting for street lighting lamps particularly is developed, which is based on measurements of the illumination in planes perpendicular to the central axis of the lamp at certain points and allows a preliminary assessment of lighting fixtures characteristics in the process of designing an energy audit or existing lighting system.*

*Keywords:* luminous intensity distribution curve, luxmeter, photometer, illumination, the meridional plane.

**Вступ.** Однією з найважливіших задач народного господарства країни є економія електричної енергії. Немала частка усього енерговикористання припадає на освітлення робочих, побутових приміщень та вулиць, тому актуальними є заходи по підвищенню економічності сучасних світильників та освітлювальних приладів. З року в рік асортимент світлотехнічної продукції розширюється: збільшується кількість виробників, які в своїх розробках все частіше використовують економічні джерела світла, зокрема світлодіоди. Під час розроблення нового світильника виникає необхідність порівняння розробленого зразка з існуючими моделями. В такому випадку необхідно побудувати криву сили світла зазначеного освітлювального приладу для подальшого визначення освітленостей, які буде він створювати.

Іншим напрямом з підвищення енергоефективності систем освітлення є їх енергоаудит. Під час його проведення актуальним є використання наближених методів побудови кривої сили світла світильників, оскільки не завжди є можливість досліджувати останні в високоточних світлотехнічних лабораторіях. Ця актуальність пояснюється тим, що, по-перше, для формування попередньої оцінки ефективності світильника часто не вимагається високої точності процесу вимірювання його характеристик, а по-друге, дослідження світильника в спеціалізованій лабораторії не завжди економічно доцільно для аудитора.

Отже, для ранніх етапів досліджень освітлювальних приладів актуальним є розроблення методів для отримання кривої сили світла з метою формування попередніх висновків, які в подальшому можуть підтверджуватись і уточнюватись після застосування більш високоточного вимірювального обладнання.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В багатьох світлотехнічних інформаційних джерелах відмічено особливості використання кривої сили світла світильників [1, 2] для отримання інформації про характеристики системи освітлення. Вихідною для таких задач є значення сили світла світильників, які можуть бути взяті з кривих чи таблиць.

Для побудови кривої сили світла використовують різного роду фотометри, які передбачають наявність фотодатчиків, спеціального приміщення та обладнання. Серед відомих фотометрів варто звернути увагу на нескладний розподільчий портативний фотометр, який описано в патенті на корисну модель [3]. Його особливістю є наявність конструкції для закріплення джерела світла та фотодатчика, який повертається навколо зафіксованого джерела. При певних кутах повороту датчика знімаються покази освітленості, а сила світла розраховується за формулою

$$I_{\alpha} = E_{\alpha} \cdot l^2 \quad (1)$$

де  $I_{\alpha}$  – значення сили світла, що вимірюється при куті  $\alpha$  від центральної вісі світильника, кд;

$E_{\alpha}$  – значення освітленості, яка вимірюється за допомогою фотодатчика, лк;

$l$  – відстань від світильника до точки проведення вимірювання, м.

Серед інших конструкцій фотометрів, на які слід звернути увагу, є подібна конструкція з тією відмінністю, що на початку виконують вимірювання освітленості, що створюється еталонною лампою, значення сили світла якої відомі [4, 5]. Фотодатчик з'єднується з гальванометром, стрілка якого відхиляється на певну кількість поділок при увімкненні лампи. Далі визначають постійну фотометра

$$f = \frac{I_0}{n_0}, \quad (2)$$

де  $I_0$  – значення сили світла еталонної лампи, кд;

$n_0$  – кількість поділок відхилення гальванометра.

Після цього на центральній вісі фотометра розміщується світильник, сила світла для якого буде вимірюватись. Повертаючи фотоелемент навколо вісі світильника записують покази гальванометра для визначених кутів (наприклад через  $10^\circ$ ) і знаходять значення сили світла за формулою

$$I_\alpha = n_\alpha \cdot f, \quad (3)$$

де  $n_\alpha$  – кількість поділок відхилення гальванометра під час вимірювання сили світла досліджуваного світильника при певному куті  $\alpha$ .

Дані установки призначені для вимірювання параметрів невеликих світильників з лампами розжарювання, компактними люмінесцентними лампами, або світлодіодами і потребують капіталовкладень для їх побудови. Немалою є вартість і еталонної лампи. Тому виникає зацікавленість пошуку нових методів побудови кривої сили світла, які можуть бути застосовані під час проведення енергетичного аудиту та попередніх досліджень нових зразків світильників, особливо великих габаритів (наприклад світильників вуличного освітлення). Важливими рисами таких методів повинні бути наявне у дослідника вимірювальне обладнання, що широко використовується та відсутність складних конструкцій.

**Мета роботи.** В даній роботі пропонується розробити наближений метод побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення, який дозволяє за відсутності спеціального обладнання отримати результати для попередньої ефективної оцінки характеристик світильників.

#### Обґрунтування результатів.

В методиках, що описані в [3–5] необхідне використання спеціальної вимірювальної установки. Така установка містить пристрій для закріплення світильника і пристрій з закріпленим фотоелементом, який рівномірно обертається навколо вісі світильника. Фотоелемент в даному випадку завжди направлений перпендикулярно до напрямку світлового потоку.

Пропонується методика, яка, на відміну від вищевказаних, не потребує спеціального обладнання для розміщення світильника і проведення вимірювання може відбуватись вручну з використанням звичайного люксметра (наприклад Ю 116). Схему процесу вимірювання наведено на рис. 1.

Дослідна установка (рис. 1) містить такі елементи: 1 – пристрій для закріплення світильника з можливістю повороту останнього навколо вертикальної вісі світильника; 2 – трос з натяжним пристроєм, що може бути закріплений до наявних в місці дослідження вертикальних жорстких конструкцій; 3 – світильник, що досліджується; 4 – фотоелемент люксметра; 5 – люксметр.

Вимірювання освітленості здійснюється в точках простору навколо світильника, що описують коло і розташовані при конкретних кутах (напр.  $5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ...). Координати цих точок  $[h, d]$  (рис. 1) розраховуються за допомогою прикладних програм (наприклад електронних таблиць Excel, чи подібних). На відміну від вищеописаних способів, фотодатчик в точках вимірювання знаходиться завжди паралельно до горизонтальної вісі світильника, що нескладно практично реалізувати. За результатами вимірювань розраховується значення сили світла за відомою формулою

$$I_\alpha = \frac{E_\alpha \cdot l^2}{\cos \alpha}. \quad (4)$$

Дослідження показали, що для світильників вуличного освітлення достатньо проводити вимірювання до точки, що відповідає куту  $70-80^\circ$ , після якої освітленість, як правило, менша 10% від максимального її значення.

Було проведено експериментальне дослідження світильника вуличного освітлення ЖКУ-11У-70-011 з натрієвою лампою, потужністю 70 Вт. Умови проведення досліду: вечірня пора доби (для усунення впливу денного світла на результати вимірювань), навчальна лабораторія з матовими світлимими стінами, що подібно, як у багатьох виробничих приміщеннях під час проведення реального енергоаудиту. Оскільки вимірювання повинні проводитись в умовах, коли світильник вважається точковим [1] і висота підвісу повинна перевищувати 1,5-2м, то в даному експерименті вони здійснювались на відстані, близько 2,5 м від підлоги (практично можлива висота підвісу троса, на якому був закріплений світильник для реалізації вимірювань вручну). В результаті побудовано поздовжню та поперечну криві сили світла (рис. 1). Для порівняння, на координатній площині наведено криві сили світла за даними підприємства виробника світильників.

а)

б)

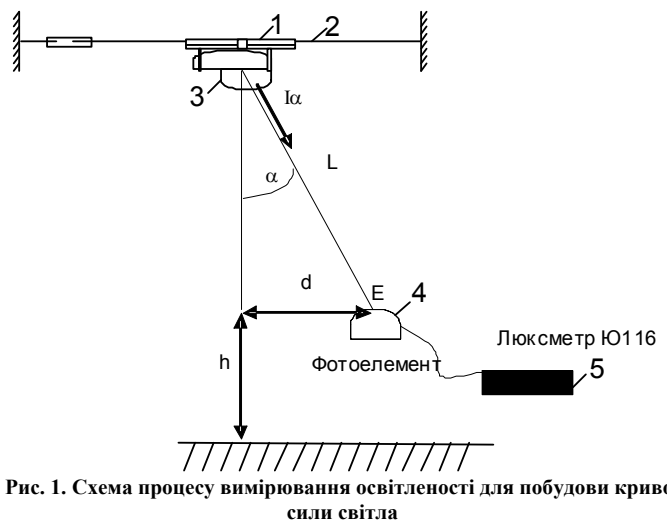


Рис. 1. Схема процесу вимірювання освітленості для побудови кривої сили світла

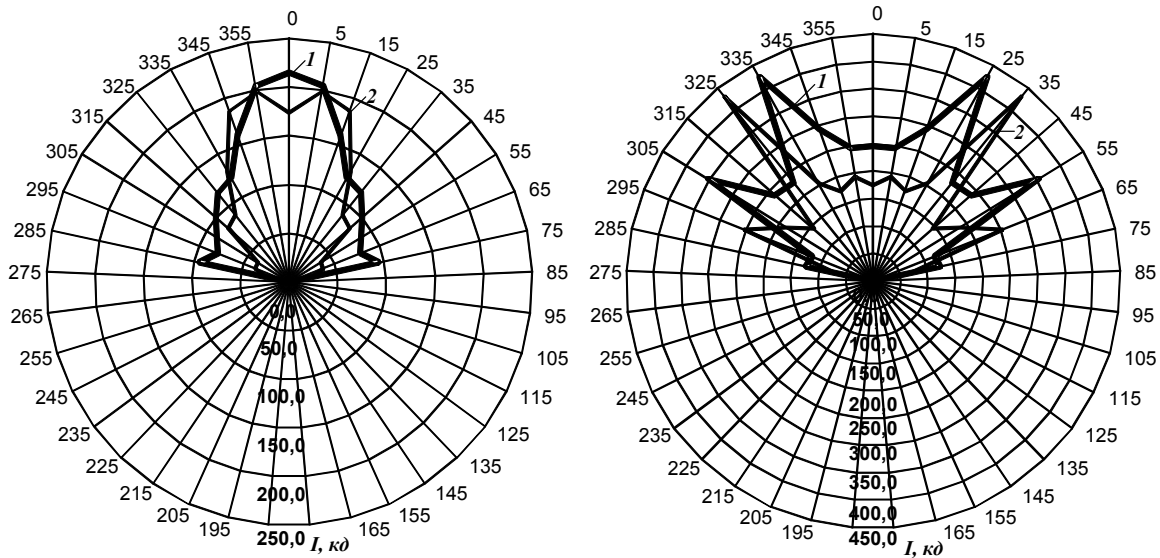


Рис. 2. Криві світла для світильника ЖКУ-11У-70-011: а) поздовжній; б) поперечні

На рис. 2 криві, що побудовані з використанням запропонованого методу позначаються цифрою 1, а криві підприємства виробника – 2. Криві будувались для лампи із світловим потоком 1000 лм. З огляду на отримані результати спостерігається подібність кривих. Для подальшої оцінки ефективності вказаного методу необхідно побудувати теоретичну і експериментальну залежності освітленості світильника від відстані до точки вимірювання і порівняти їх. При цьому, теоретична залежність будується на основі інформації, що взята з кривої сили світла з використанням формули  $E_{\alpha} = I_{\alpha} \cdot \cos \alpha / l^2$ .

Досліджувані світильники під час їх експлуатації розташовуються на відстані від землі близько 7-8 м, а освітлювальні опори – на відстані 25-30 м одна від одної. Таким чином, доцільно провести аналіз освітленості на відстані, орієнтовно до 15 м від світильника (відстань  $l_{\max}$ , рис. 3а). Однак, враховуючи, що енергоаудитор не завжди має можливість розташувати досліджуваний світильник на його експлуатаційній висоті, то пропонується схема проведення дослідів, для якої необхідна наявність приміщення, довжиною не менше 15 м, що є доступно на більшості об'єктів. Принципова схема проведення вимірювання наведена на рис. 3б. Дослід передбачає необхідність закріплення світильника на вертикальній конструкції з можливістю його повороту на потрібний кут (далі для прикладу наведено результати досліджень для світильника, який повернуто на кут  $45^{\circ}$  до вісі вимірювання). Фотоелемент також повертається на аналогічний кут, однак в напрямку, що протилежний до напрямку повороту світильника. Для цього досліднику необхідно заготовити шаблони з конкретними кутами, прикладаючи до яких фотоелемент, можна забезпечити його орієнтацію на потрібний кут. Такі повороти необхідні для створення умов вимірювання, що відповідають реальним експлуатаційним (рис. 3). Після увімкнення світильника було здійснено вимірювання освітленості на проміжку від 8 до 15 м.

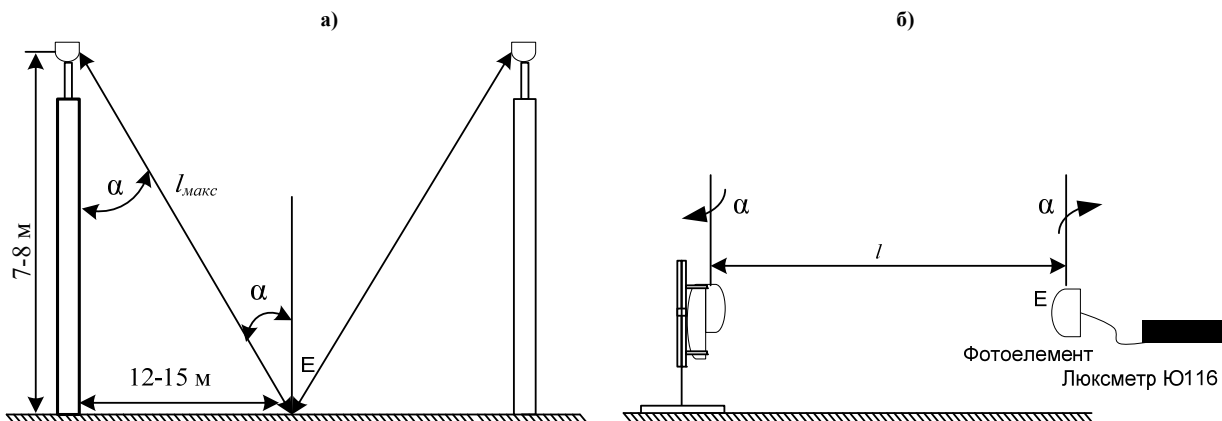


Рис. 3. Схема вимірювання освітленості світильника

В результаті проведення експерименту отримано залежності освітленості, які наведено на рис. 4.

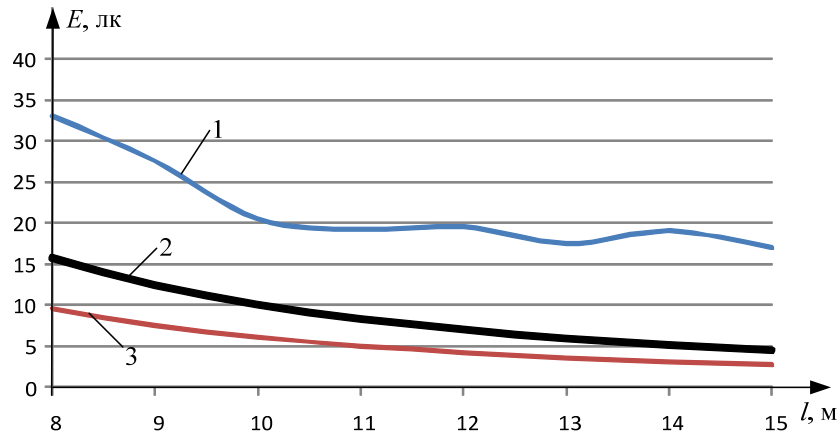


Рис. 4. Залежності експериментальних та теоретичних значень освітленості

На рисунку 4 крива 1 – залежність освітленості від відстані до точки вимірювання, яка отримана експериментально з використанням люксметра; крива 2 – залежність освітленості, що розрахована виходячи з даних кривої сили світла, яка побудована на основі запропонованого методу (для побудови взяті значення сили світла при куті  $45^\circ$ ); крива 3 – залежність освітленості, що отримана на основі значення  $I_{45^\circ}$  з кривої сили світла за даними підприємства виробника. Варто зазначити, що дані для побудови кривої 3 отримані на спеціалізованому лабораторному обладнанні. Як видно з рис. 4, криві 2 та 3 близько розташовані, про що свідчить можливість застосування наближеного методу побудови кривої сили світла для цілей енергоаудиту і попередніх оцінок світлотехнічних характеристик світильників. Характер проходження кривої 1 вказує на похибку експерименту, що зумовлена наявністю відбитої додаткової освітленості під час його здійснення.

На рис. 5 наведено графіки похибок визначення освітленості на основі даних з кривої сили світла, що побудована з використанням запропонованого методу (1) і кривої сили світла за даними виробника світильника (2).

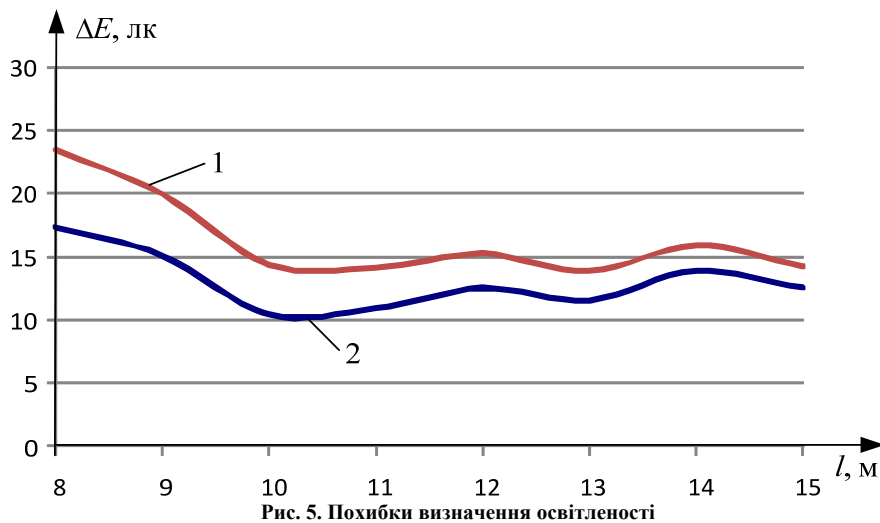


Рис. 5. Похибки визначення освітленості

Похибки розраховано відносно значень експериментально виміряної освітленості і пояснюються тим, що таке вимірювання було проведено в коридорному приміщенні із світлими стінами, що впливало на спотворення показів люксметра. Результати вимірювання відбитої складової освітленості показали, що вона лежить в межах 5 – 30 лк в залежності від точок вимірювання. З рис. 4 видно, що якщо усунути відбиту складову (наприклад з використанням приміщення з темними стінами, або шляхом закриття стін матеріалом з низьким коефіцієнтом відбиття), крива 1 знизиться на 15-20 лк і буде в межах кривих 2 і 3. За умов попередніх досліджень під час проведення енергоаудиту системи освітлення, такий результат може бути допустимим і достатнім для формування рекомендацій по ефективному використанню світильника, що досліджується.

### Висновки

Розроблено наближений метод побудови кривої сили світла світильників вуличного освітлення, в основу якого покладено вимірювання освітленостей в площинах, що перпендикулярні центральній вісі світильника в визначених точках.

Перевагою методу є можливість отримання інформації з допомогою доступного вимірювального та допоміжного кріпильного обладнання і за відсутності спеціальних лабораторних приміщень для

світлотехнічних досліджень.

Значення освітленості, які розраховані на основі побудованої кривої сили світла, визначені з точністю, що достатня для попередньої оцінки світлотехнічних характеристик світильників в процесі їх проектування або енергоаудиту діючої системи освітлення.

### Література

1. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
2. Бабенко О.В. Підвищення швидкодії застосування точкового методу під час розрахунку системи освітлення з круглосиметричними світильниками / О. В. Бабенко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – № 2. – С. 50–54.
3. Пат. 32792 Україна. МПК F21L 4/00. Фотометр розподільчий портативний: Пат. 32792 Україна. МПК F21L 4/00 М.І. Носанов, В.І. Тимченко, Т.І. Романова, В.І. Шаталов, О.В. Харанжевич (Україна). – №200801588; Заявл. 07.02.2008; Опубл. 26.05.2008. Бюл. №10. – 3 с.
4. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. : ГОСТ 17616–82. — [Взамен ГОСТ 17616–80 ; введ. 1983—01—01]. — М. : Издательство стандартов, 1982. — 40 с. — (Государственный стандарт).
5. Електричне освітлення та опромінення. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів факультету енергетики та автоматики Національного університету біоресурсів і природокористування України / Л.С.Червінський, О.М.Берека, Г.М.Борщ, Л.О.Сторожук. — Київ : видавничий відділ НУБіП України, 2012. — 42 с.

### References

1. Knorryn H. M. Spravochnaya knyha dlya proektyrovannya elektrycheskoho osveshcheniya / Knorryn H. M., Fadyn Y. M., Sydorov V. N. – SPb. : Enerhoatomyzdat, 1992. – 448 s.
2. Babenko O.V. Pidvyschennia shvydkodii zastosuvannia tochkovoho metodu pid chas rozrakhunku systemy osvittlennia z kruhlosymetrychnymy svytl'nykamy / O. V. Babenko // Vymiriuvai'na ta obchysliuvai'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – № 2. – С. 50–54.
3. Pat. 32792 Ukraina. MPK F21L 4/00. Fotometr rozpodil'chyy portatyvnyj: Pat. 32792 Ukraina. MPK F21L 4/00 M.I. Nosanov, V.I. Tymchenko, T.I. Romanova, V.I. Shatalov, O.V. Kharanzhevych (Ukraina). – №200801588; Zaiavl. 07.02.2008; Opubl. 26.05.2008. Biul. №10. – 3 s.
4. Lampy elektricheskie. metody izmereniya elektricheskix i svetovykh parametrov. : Gost 17616–82. — [vzamen gost 17616–80 ; vved. 1983—01—01]. — M. : Izdatelstvo standartov, 1982. — 40 s. — (Gosudarstvennyj standart).
5. Elektrichne osvittlennia ta oprominennia. Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit dlia studentiv fakul'tetu enerhetyky ta avtomatyky Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy / L.S.Chervins'kyj, O.M.Bereka, H.M.Borsch, L.O.Storozhuk. — Kyiv : vydavnychyj viddil NUBiP Ukrainy, 2012. — 42 s

Рецензія/Peer review : 7.5.2015 р. Надрукована/Printed : 20.6.2015 р.  
Рецензент: д. т. н., професор Бурбело М.Й.