



Б. Шабашкевич, кандидат технічних наук,
директор, ТОВ «Науково-виробнича фірма «Тензор»,
м. Чернівці,
e-mail: td_tenzor@ukr.net

В. Юр'єв, інженер, ВАТ ЦКБ Ритм,
м. Чернівці,
e-mail: butyur@rambler.ru

Ю. Добровольський, доктор технічних наук, доцент,
Чернівецький національний університет
(ЧНУ) ім. Юрія Федьковича,
e-mail: yuriydrq@ukr.net;
заступник директора, ТОВ «Науково-виробнича
фірма «Тензор»,
e-mail: td_tenzor@ukr.net

І. Докторович, інженер, ВАТ ЦКБ Ритм,
м. Чернівці,
e-mail: butyur@rambler.ru

Є. Шорок, студент, ЧНУ ім. Юрія Федьковича,
e-mail: e.olegovich.shrk@gmail.com

B. Shabashkevich, Candidate of Technical
Sciences, director, Limited Liability Company
«Scientific and Production Company «Tensor», Chernivtsi
e-mail: td_tenzor@ukr.net

V. Yuriev, engineer, Open Joint-Stock Enterprise
«Central Design Bureau Ritm», Chernivtsi,
e-mail: butyur@rambler.ru

Yu. Dobrovolsky, Doctor of Technical Sciences, Associate
Professor, Yuri Fedkovych Chernivtsi National University.
e-mail: yuriydrq@ukr.net
Deputy Director, Limited Liability Company
«Scientific and Production Company «Tensor»,
Chernivtsi,
e-mail: td_tenzor@ukr.net

I. Doktorovich, Engineer, Open Joint-Stock Enterprise
«Central Design Bureau Ritm», Chernivtsi,
e-mail: butyur@rambler.ru

E. Shorok, student, Yuri Fedkovych Chernivtsi National University,
e-mail: e.olegovich.shrk@gmail.com

*Проаналізовано сучасні люксметри і наведено результа-
ти розроблення люксметра з динамічним діапазоном у десять
порядків та методики дослідження його метрологічних харак-
теристик, згідно з якими нелінійність енергетичної характе-
ристики чутливості люксметра не перевищує $\pm 0,7\%$ в діа-
пазоні освітленостей $(1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^5)$ лк, а межі допустимої
основної відносної похибки вимірювання освітленості не пе-
ревищують $\pm 5\%$.*

*Modern lightmeters are analyzed and the results of the
development of a luxmetre with a dynamic range of ten orders
and the methods of studying its metrological characteristics are
presented, according to which the nonlinearity of the energy
characteristic of the sensitivity of the luxmetre does not exceed
 $\pm 0,7\%$ in the range of illumination $(1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^5)$ lux, and
the limits of the permissible basic relative error of measuring the
illumination do not exceed $\pm 5\%$.*

Ключові слова: люксметр, освітленість, нелінійність, похибка, динамічний діапазон, фотодіод.

Keywords: light meter, illumination, nonlinearity, error, dynamic range.

Сучасна техніка і природне середовище ставлять перед світлотехнікою ряд завдань, які у цілому полягають у необхідності вимірювання надзвичайно малих світлових потоків. Зокрема, це освітленість доріг у нічний час (до 0,5 лк [1]), яскравість люмінесцентних джерел світла (до 0,2 кд/м² [1]), визначення поняття «ніч» з точки зору фотометрії ($2 \cdot 10^{-4}$ лк [2]), вимірювання питомого коефіцієнта сили світла світлоповертаючих матеріалів (до 10^{-4} лк [3]) та багато інших.

Для вимірювання таких малих рівнів освітленості існують певні прилади, зокрема, яскравомір ЯРМ-3, діапазон вимірювання освітленості якого складає від

$5 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^8$ лк за величини відносної похибки, не більшої за 8 % [4], вартість якого відповідає його широкому динамічному діапазону (~ 3000 \$); або фотометр Екотензор-03, який у вдосконаленій версії здатний забезпечувати вимірювання освітленості в діапазоні від 10^{-3} до $2 \cdot 10^5$ лк [5—7] за ціни близько 600 €. Також існує люксметр низьких рівнів освітленості, що входить до складу установки для вимірювання питомого коефіцієнта сили світла світлоповертаючих матеріалів, діапазон вимірювання освітленості якої складає ($10^{-5} - 10^3$) лк [8].

Зауважимо, що для вимірювання малих рівнів освітленості потрібні первинні перетворювачі з

високою чутливістю у видимій області спектра. Частіше всього це фотодіоди (ФД) на основі кремнію, який має ширину забороненої зони на рівні 1,1 еВ і відповідно діапазон спектральної чутливості від 0,2 до 1,1 мкм залежно від конструкції. Попередній відбір ФД за їх параметрами, зокрема, чутливістю здійснюється частіше всього по сприйняттю випромінювання ламп розжарювання за температури $T_k = 2856 \text{ K}$ [9]. Методи встановлення рівнів освітленості можуть бути різними. Один із них — за відомими силою світла джерела випромінювання ($I_{\text{дж}}$) та відстанню до ФД (L) розраховується рівень освітленості (E) в площині фоточутливого елемента за співвідношенням:

$$E = I_{\text{дж}} / L^2. \quad (1)$$

Якщо сила світла джерела невідома, освітленість визначають за використання компаратора, як таким є калібрований люксметр або фотометр.

Також широко використовується метод ослаблення відомої величини освітленості до заданої за допомогою світлофільтрів. Теоретично використовується розрахунковий метод — за параметрами матеріалу, із якого виготовлено випромінювач, розраховуються очікувані світлові параметри джерела.

Проте виникають завдання, наприклад, проведення калібрування оптико-електронних приладів (ОЕП) за умов, коли рівень освітленості неможливо визначити ні за одним із зазначених вище методів. Особливо, якщо для калібрування ОЕП створюються еквівалентні джерела — еквівалентні реальним джерелам за дією потоку випромінювання, і постає питання визначення фактичної величини освітленості, особливо малих рівнів, наприклад, освітленостей, які створюють зоряне або захмарене нічне небо ($E \leq 2 \cdot 10^{-4}$ лк).

Мета дослідження — створення дешевого люксметра низьких рівнів освітленості ($E \leq 2 \cdot 10^{-4}$ лк) та методики дослідження його метрологічних параметрів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Конструкція люксметра

Для вирішення проблеми вимірювання низьких рівнів освітленості, створюваної точковими джерелами світла, авторами розроблено та виготовлено експериментальний зразок люксметра, який забезпечує діапазон показань освітленості в основному режимі вимірювань від $1 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^2$ лк, зі змінними насадками — від $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^5$ лк.

Люксметр складається з електронного блока, фотометричної головки (ФГ), змінних насадок та блока живлення. Зовнішній вид люксметра наведено на рис. 1, структурну схему — на рис. 2.

Прилад складається з вимірювального блока (1); блока живлення (2); фотометричної головки (3),



Рис. 1. Зовнішній вид люксметра малих рівнів освітленості

Fig. 1. Appearance of a light meter of small levels of illumination

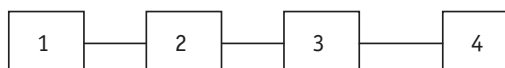


Рис. 2. Структурна схема люксметра
1 — головка фотометрична; 2 — перетворювач струм-напруга (ПСН); 3 — аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 4 — рідкокристалічний індикатор (РКІ).

Fig. 2. The block diagram of the light meter

в якій міститься фотодіод; косинусної насадки (біле коло на фотометричній головці); коригувального світлофільтра (4), який встановлюється перед фотодіодом; насадки № 2 з послаблювальним світлофільтром (5); насадки № 3 (6), яка є каліброваною за площею діафрагмою.

Як первинний перетворювач вибрано фотодіод ФД288, який виготовляється ВАТ «ЦКБ Ритм» для метрологічних цілей [10]. Для забезпечення відносної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору (V_λ) [11], за допомогою світлофільтрів проведено коригування спектральної характеристики кремнієвого фотодіода ФД288 (S_λ) (рис. 3), яка після корекції відповідає кривій видності ока $U(\lambda)$.

Робота приладу пояснюється за допомогою рис. 2 і полягає в тому, що світловий потік від джерела випромінювання надходить на фоточутливий елемент ФГ 1 (рис. 2), генерує фотострум, який перетворюється ПСН 2 в пропорційну йому напругу

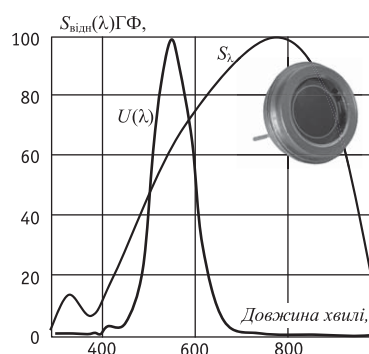


Рис. 3. Спектральна характеристика чутливості ФГ
Fig. 3. Spectral characteristic of FG sensitivity

постійного струму. АЦП 3 перетворює напругу в цифровий код, який виводиться на індикатор 4.

Максимальна інтегральна чутливість кращих фотометричних головок перевищує $S_{\text{інт}} = 3.0 \cdot 10^{-8}$ А/лк. За мінімальної освітленості $E_{\text{мін}} = 1 \cdot 10^{-4}$ лк фотострум дорівнює $I = S_{\text{інт}} \cdot E_{\text{мін}} = 3.0 \cdot 10^{-12}$. Це у кілька разів більше за порогову чутливість ПСН.

До комплекту поставки фотометра входить насадка для вимірювання малих рівнів освітленості (насадка № 3) з коефіцієнтом послаблення K_2 у межах $(0.1 \pm 10 \%)$.

Вимірювання малого рівня освітленості (меншого від 10^{-4} лк) відбувається за допомогою насадки № 3, яка є каліброваною діафрагмою з відомою площею. При цьому з фотометричної головки знімаються косинусна насадка, фільтр, що коригує спектральну характеристику фотодіода під криву видності ока. У цілому, між фотодіодом та потоком випромінювання не повинно бути ніяких конструкцій. Далі потрібно встановити нуль фотометра, затемнивши фотодіод ФГ. За допомогою регулювання «УСТ 0» з точністю до ± 2 одиниці молодшого розряду на самій чутливій межі встановити нуль. Після цього ФГ встановлюється

у площину визначення освітленості й вимірюється освітленість. Показання фотометра помножити на коефіцієнт K_2 .

Під час вимірів на самому чутливому діапазоні необхідно положення ФГ, вимірювального блока і з'єднувального кабеля зафіксувати для зменшення впливу електромагнітних полів на результат вимірювань.

Також потрібно враховувати, що під час вимірів із застосуванням насадки № 3 спектральна характеристика чутливості ФГ S_λ (рис. 3) відрізняється від спектральної характеристики $U(\lambda)$ (рис. 3). Окрім того, насадка № 3 застосовується для вимірювання освітленості, створюваної саме точковими джерелами типу А.

Визначення технічних та метрологічних характеристик люксметра

Для визначення технічних та метрологічних характеристик люксметра проведено мет-

рологічну атестацію, в ході якої визначено:

- час виходу люксметра на робочий режим;
- відносну спектральну характеристику чутливості $S_{\text{відн.}}(\lambda)$ ФГ;
- нестабільність вимірювань;
- нелінійність енергетичної характеристики чутливості;
- діапазон показань люксметра;
- межі допустимої основної відносної похибки;
- споживану потужність люксметра;
- габаритні розміри та масу.

Вимірювання часу виходу люксметра на робочий режим проведено на установці, структурну схему якої подано на рис. 4.

Для зменшення похибки вимірювань у площині ФГ люксметра створюється освітленість, за якої забезпечуються показання люксметра в межах (1000—1500) одиниць табло на самому чутливому діапазоні люксметра, оскільки на цьому діапазоні він є найбільш інерційним.

Після підготовки люксметра до роботи та п'ятихвилинної його засвітки визначено освітле-

Результати вимірювання параметрів розробленого макетного зразка люксметра

Results of measurements of the parameters of a developed model of a luxmetric sample

Найменування параметра, характеристики	Вимоги щодо параметра	Фактичні значення параметра
Час виходу люксметра на робочий режим, хв.	не більший за 1	14 с
Відносна спектральна характеристика чутливості $S_{\text{відн.}}(\lambda)$ ФГ	не більша за 5 %	2.3 %
- в області довжин хвиль від 0.4 до 0.75 мкм ($ \Delta_{\text{max}} $)		0.4 %
- в області довжин хвиль від 0.3 до 0.4 мкм ($\alpha_{\text{УФ}}$) і від 0.75 до 1.2 мкм ($\alpha_{\text{ІЧ}}$)	не більша за 1 %	
Діапазон показань люксметра, лк	$10^{-5} — 1 \cdot 10^5$	відповідає
Межі допустимої основної відносної похибки	не більші за $\pm 10 \%$	$\pm 5 \%$
Нестабільність вимірювань	не більша за $\pm 1 \%$	$\pm 0.3 \%$
Нелінійність енергетичної характеристики чутливості	не більша за $\pm 1 \%$	$\pm 0.7 \%$
Споживана потужність люксметра	не більша за 0.2 В·А	відповідає
Габаритні розміри, мм		відповідає
- електронного блока люксметра	190 × 95	
- головки фотометричної	× 50	
- блока живлення	52 × 85	
	50 × 75 × 90	
Маса, кг	1.0 кг	відповідає

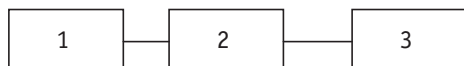


Рис. 4. Структурна схема установки для вимірювання часу виходу люксметра на робочий режим.

1 — блок живлення Б5-21; 2 — джерело випромінювання — лампа розжарювання РН12-100; 3 — досліджувані люксметр

Fig. 4. Structural diagram of the installation for measuring the time of output of the light meter to the operating mode

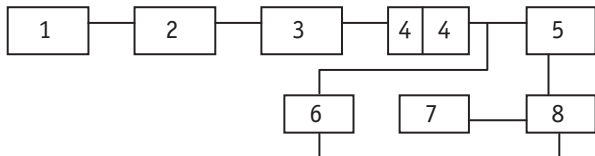


Рис. 5. Структурна схема установки для вимірювання спектральної характеристики ФГ

1 — блок живлення Б5-21; 2 — вольтамперметр М2015; 3 — джерело випромінювання — лампа розжарювання КГМ24-150; 4 — монохроматор МДР-23 (2 шт.); 5 — ФГ ИДНМ 3.001.100; 6 — еталонна ФГ; 7 — вольтметр цифровий В7-34А; 8 — прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-1 ИДНМ 4.001.0000

Fig. 5 Structural scheme of the installation for measuring the spectral characteristics of the FG

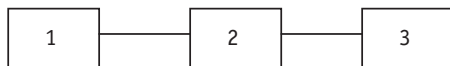


Рис. 6. Структурна схема установки для вимірювання нелінійності світлової характеристики

1 — блок живлення Б5-21; 2 — освітлювач; 3 — досліджувані люксметр

Fig. 6. Structural diagram of the installation to measure the nonlinearity of the light characteristic

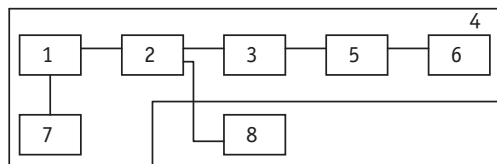


Рис. 7. Структурна схема установки для юстування люксметра.

1 — вольтметр М 2015; 2 — джерело випромінювання — лампа розжарювання з кольоровою температурою $T_k = (2856 \pm 100) \text{ K}$ типу РН-12-100; 3 — еталонна ФГ ИДНМ4.002.00.00; 4 — установка для вимірювання параметрів оптоелектронних приладів ИДНМ 4.003.00.00; 5 — прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-1 ИДНМ 4.001.00.00; 6 — вольтметр цифровий універсальний В7-34А; 7 — блок живлення Б 5-21; 8 — люксметр

Fig. 7. Structural diagram of the setup for adjusting the luxmetre

ність E_0 . У подальшому люксметр вимикався, а через 10 хвилин знову вмикався та визначався час $t_{\text{роб}}$ — час, після якого показання люксметра E_1 відрізнялися від E_0 не більше ніж на 10 %.

Результати вимірювання $t_{\text{роб}}$ представлено у таблиці.

Вимірювання спектральної характеристики чутливості ФГ люксметра $S_{\text{відн}}(\lambda)$ проведено на установці, структурну схему якої наведено на рис. 5,

методом порівняння спектральних характеристик ФГ та еталонної радіометричної головки (ЕРГ). Для цього, в спектральному діапазоні від 300 до 1200 нм, по чергово проведено вимірювання фотосигналів еталонної радіометричної ($I_{\text{ЕРГ}}$) та фотометричної ($I_{\text{ГФ}}$) головок та розраховано спектральну характеристику чутливості $S_d(\lambda)$ досліджуваної ГФ:

$$S_d(\lambda) = S_{\lambda_k} I_{\text{ГФ}} / I_{\text{ЕРГ}} \quad (2)$$

де S_{λ_k} — спектральна характеристика чутливості ЕРГ згідно з її паспортом.

Відносна спектральна характеристика чутливості досліджуваної ГФ визначалася за співвідношенням:

$$S_{\text{відн}}(\lambda) = S_d(\lambda) / S_{d_{\text{max}}}(\lambda), \quad (3)$$

де $S_{d_{\text{max}}}(\lambda)$ — максимальне значення із $S_d(\lambda)$.

Результати вимірювання $S_{\text{відн}}(\lambda)$ представлено у таблиці.

Перевірку нестабільності вимірювань люксметра проведено у такий спосіб.

Виконано п'ять вимірювань в діапазоні освітленостей від 10 до 100 лк через рівні інтервали часу (1 хв) та визначено нестабільність люксметра ($\delta_{\text{нест}}$) в процентах за співвідношенням:

$$\delta_{\text{нест}} = [(A_{\text{max}} - A_{\text{cp}}) / A_{\text{cp}}] \cdot 100\%, \quad (4)$$

де A_{cp} — середнє арифметичне значення п'яти показань люксметра, відносні одиниці; A_{max} — показання люксметра, які максимально відрізняються від A_{cp} , відносні одиниці.

Результати вимірювання $\delta_{\text{нест}}$ представлено у таблиці.

Вимірювання нелінійності світлової характеристики люксметра проводилося методом додаткового світла [12] на установці, структурну схему якої наведено на рис. 6.

Після підготовки установки до роботи по чергово опромінювалася ФГ потоками кожного каналу та обома водночас, вимірювалися показання люксметра A_1 , A_1' і A_1'' та визначалася нелінійність світлової характеристики за співвідношенням:

$$\delta_{\text{нел}} = [A_1 + A_1' - A_1'' / (A_1 + A_1')] \cdot 100\%. \quad (5)$$

Поступово змінюючи освітленість до максимального значення ($E_{\text{max}} = 1 \cdot 10^5$ лк), визначено нелінійність світлової характеристики в усьому діапазоні.

За нелінійність світлової характеристики ($\delta_{\text{нел}}$) люксметра взято максимальне зі значень, розрахованих за формулою (5).

Результати вимірювання $\delta_{\text{нел}}$ представлено у таблиці.

Для визначення основної відносної похибки люксметра під час вимірювань освітленості необхідно визначити ще й похибку юстування.

Юстування люксметра проводилося на установці, структурну схему якої наведено на рис. 7.

Для забезпечення вимог щодо точковості джерела випромінювання ГФ встановлювалася на фотометричному стенді на відстані, не меншій від 1000 мм, і проводилися вимірювання фотосигналу (U). Освітленість (E) визначалася за формулою:

$$E = U / k_{\text{пр}} S_{\text{інт}}, \quad (6)$$

де $k_{\text{пр}}$ — коефіцієнт перетворення прицизійного перетворювача струм-напруга ППТН-1 (В/А); $S_{\text{інт}}$ — інтегральна чутливість ГФ до джерела типу А, А/лк.

Після установа на стенді вимірюваної ФГ та під'єднання її до електронного блока люксметра фіксувалися показання люксметра (E_1) та визначалося відхилення ($\delta_{\text{ю}}$) цієї величини від розрахованої за співвідношенням 6. Це відхилення є похибкою юстування.

Основна відносна похибка вимірювання освітленості (δ_E), що створюється джерелом, довільним за спектральним складом випромінювання, визначалася за співвідношенням:

$$\delta_E = \pm 1.1 \sqrt{\delta_{\text{ГФ}}^2 + \delta_{\text{нест}}^2 + \delta_{\text{нел}}^2 + \delta_{S(\lambda)-U(\lambda)}^2 + \delta_{\text{ю}}^2}, \quad (7)$$

де $\delta_{\text{ГФ}}$ — похибка еталонної ФГ, %; $\delta_{\text{ю}}$ — похибка юстування, %; $\delta_{\text{нел}}$ — нелінійність світлової характеристики люксметра, %; $\delta_{\text{нест}}$ — нестабільність люксметра, %; $\delta_{S(\lambda)-U(\lambda)}$ — похибка корекції спектральної характеристики ФГ, %.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що на сьогодні не існує люксметрів, здатних забезпечити вимірювання освітленості в діапазоні від $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^5$ лк.

2. Розроблено люксметр з динамічним діапазоном у десять порядків для вимірювання освітленості, створюваної точковими джерелами світла. Нелінійність енергетичної характеристики чутливості люксметра не перевищує $\pm 0,7$ %.

3. Розроблено та наведено методики дослідження метрологічних характеристик люксметра, згідно з якими межі допустимої основної відносної похибки вимірювання освітленості не перевищують ± 5 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

- ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне устаткування будівель і споруд. Природне і штучне освітлення. — Мінстрой України. — Киев (DBN B.2.5-28-2006. Engineering equipment of buildings and structures. Natural and artificial lighting. — Ministry of Construction of Ukraine. — Kiev). — 2006. — С/Р. 76. Затверджені 15.05.2006.
- Гузевиц Ю.К. Оптико-електронні прибори ночного видіння. — М.: ФИЗМАТЛИТ (Guzevich Yu.K. Optical-electronic devices for night vision. — M.: FIZMATLIT), — 2014. — 276 с/р. (с/р. 48).
- Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування: ДСТУ 4100-2002. [чинний від 01.01.2003]. К.: Майстерня спецдруку «Сантіс» (Road signs. General specifications. Application rules: DSTU 4100-2002. [effective as of 01.01.2003]. K.: Workshop for special print «Santis». (National Standard of Ukraine)), 2002, с/р. 63. (Національний стандарт України).
- Яркомер-люксметр ЯРМ-3. Паспортні дані. Електронний ресурс (Yarmometer-Luxmeter YRM-3. Passport data. Electronic resource). Режим доступу: <https://biolight.ru/product/0001954>.
- Екотензор-03 (люксметр-яркомер-пульсметр). Паспортні дані. Електронний ресурс (Ekotenzor-03 (luxmetric-brightometer-pulsemeter). Passport data. Electronic resource). Режим доступу: <http://tenzor.ua/products/izmerenie-opticheskikh-harakteristik-pribory-dlya-izmereniya-harakteristik-vidimogo-izlucheniya-parametrov-svetovoy-sredy/ekotenzor-03/>.
- Shabashkevych B.G. Devices of RPC «TENZOR» for investigation of physical environmental factors / B.G. Shabashkevych, Yu.G. Dobrovolskyi // Український метрологічний журнал. — 2017. — № 3. — С/Р. 29—31. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Umlzh_2017_3_7.
- Шабашкевич Б.Г. Приладове забезпечення НВФ «ТЕНЗОР» для вимірювання коефіцієнта пульсації світла / Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольський, В.Г. Юр'єв // Метрологія та прилади (Shabashkevich B.G. Instrumentation of the TVF «TENSOR» to measure the pulsation of light / B.G. Shabashkevich, Yu.G. Dobrovolskyi, V.G. Yuriev // Metrology and Instruments). — 2016. — № 6. — С/Р. 15—21.
- Бутенко В.К. Установка для измерения удельного коэффициента силы света материалов со световозвращающим эффектом / В.К. Бутенко, Ю.Г. Добровольский, Б.Г. Шабашкевич, В.Г. Юр'єв // ТКЭА (Butenko V.K. A unit for measuring the specific coefficient of light intensity of materials with a retroreflective effect / V.K. Butenko, Yu.G. Dobrovolskyi, B.G. Shabashkevich, V.G. Yuriev // TCEA). — 2009. — 5 (83). — С/Р. 10—12.
- Приемники излучения. Полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик: ГОСТ 17772-88. — [чинний від 1988-01-07]. М.: Изд-во Стандартов, — 1988. — 158 с. (Державний стандарт СРСР) (Receivers of radiation. Semiconductor photoelectric and photodetector devices. Methods for measuring photoelectric parameters and determining the characteristics: GOST 17772-88. — [official order 1988-01-07]. Moscow: Publishing House of Standards (The USSR Standard)).
- Фотодіод ФД-288. Паспортні дані. Електронний ресурс (Photodiode FD-288. Passport data. The electronic resource). Режим доступу: http://www.ckb-rhythm.narod.ru/fdSipn_fd288.htm.
- СОУ МПП 29.200-024:2004. Перетворювачі випромінювання вимірювальні для світлових вимірювань. Характеристика відносної спектральної чутливості. Вимоги та класифікація (SOF MSP 29.200-024: 2004. Measuring transducers for light measurements. Characteristic of relative spectral sensitivity. Requirements and classification).
- Бутенко В.К. Установка для вимірювання динамічного діапазону фотоприймачів / В.К. Бутенко, В.М. Годованюк, І.В. Докторович // Науковий вісник ЧНУ. — Вип. 112: Фізика. Електроніка. Чернівці: ЧНУ (Butenko V.K. Installation for measuring the dynamic range of photodetectors / V.K. Butenko, V.M. Godanjuk, I.V. Doctorovich // Scientific Bulletin of ChNU. — Vip 112: Physics. Electronics. Chernivtsi: ChNU). — 2001. — С/Р. 67—70.

Отримано / received: 14.06.2018.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.А. Назаренком (Україна).
Prof. L.A. Nazarenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.