

УДК 551.510.534:621.383.52:004.9

ПРИЛАДОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НВФ «ТЕНЗОР» ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПУЛЬСАЦІЇ СВІТЛА

Б. Шабашкевич, кандидат технічних наук, директор,

Ю. Добровольський, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи,
ТОВ НВФ «Тензор», м. Чернівці,

В. Юр'єв, начальник СКБ,

ПАТ «ЦКБ «Ритм», м. Чернівці

Обґрунтовано формулу для визначення коефіцієнта пульсації світла, в якій під середнім значенням освітленості розуміється усереднене значення, яке визначається як сума всіх виміре-них значень освітленості, поділена на кількість значень. Створено фотометр «Екотензор-03» для вимірювання коефіцієнта пульсації джерел світла із діапазоном вимірювання освітленості у вісім порядків – від 10^{-3} до 2×10^5 лк, конструкція та програмне забезпечення якого дозволяє здійснювати 25000 вимірювань освітленості за секунду та обчислювати коефіцієнт пульсації джерел світла з частотою до 300 Гц незалежно від параметра форми пульсації джерела.

Proved a formula for determining the pulsation of light in which the average of the average value of illumination is understood, defined as the sum of all the measured values of light, divided by the number of values. A «Ekotenzor-03» photometer for measuring the ripple light sources of illumination measurement range of eight orders of magnitude - from 10^{-3} to 2×10^5 lux design and software which allows for 25000 measurements per second and illumination count rate ripple of light sources at up to 300 Hz, regardless of the shape parameter pulsation source.

Ключові слова: фотометр, коефіцієнт пульсації, освітленість, середнє значення освітленості, вимірювання.
Keywords: photometer, ripple factor, light exposure, the average illumination measurement.

За різними джерелами від 80 до 90 відсотків корисної інформації людина отримує за допомогою зорового апарату, детектуючи світлові сигнали. Зрозуміло, що контроль достовірності цієї інформації залежить як від якості зору, так і від якості налаштування джерел, які випромінюють світлові потоки. Згідно з наявною нормативною документацією [1] контролю підлягають різноманітні параметри світлового середовища. Основні з них: сила світла, освітленість, яскравість та коефіцієнт пульсації джерела світла.

Якщо до недавнього часу питання організації метрологічних основ для вимірювання сили світла, яскравості та освітленості не викликало проблем, то питання метрологічного забезпечення вимірювання коефіцієнта пульсації джерела світла залишалося відкритим. Це питання є актуальним і до сьогодні, оскільки не визначено, у який спосіб потрібно розраховувати коефіцієнт пульсації.

У 2015 році внаслідок модернізації Державного первинного еталона одиниці сили світла [2] створилися умови для зміни в повірочній схемі, які дозволяють регламентувати перевірку імпульсних фотометрів та пульсметрів. Отже, з'являється можливість удосконалення системи метрологічного забезпечення пульсметрів, зокрема, деталізація вимог до нормативної документації в частині правил розрахунку коефіцієнта пульсації.



Б. Шабашкевич



Ю. Добровольський



В. Юр'єв

Зважаючи на наведене вище, *мета роботи* — аналіз методів розрахунку коефіцієнта пульсації та їх практичної реалізації у засобі виміральної техніки.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЄНТІВ ПУЛЬСАЦІЇ

За визначенням згідно з [1], коефіцієнт пульсації освітленості K_n , % — критерій оцінки відносної глибини коливань освітленості внаслідок зміни в часі світлового потоку газорозрядних ламп за живлення їх змінним струмом, який виражається формулою:

$$K_n = \frac{(E_{\max} - E_{\min})}{2E_{\text{сеп}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де E_{\max} , E_{\min} — відповідно максимальне і мінімальне значення освітленості за період її коливання, лк; $E_{\text{сеп}}$ — середнє значення освітленості за той ж період.

Що таке $E_{\text{сеп}}$ і як його розраховувати або оцінювати, в державних будівельних нормах [1] не зазначено, але, на нашу думку, в (1) під $E_{\text{сеп}}$ розуміють середнє значення у класичному розумінні, за яким сума усіх значень освітленості має бути поділена на кількість значень. Але, як виявляється із аналізу нормативної документації інших країн та наукових публікацій, це не так.

У [3] пропонується обчислювати середнє значення освітленості як:

$$E_{\text{сеп}} = (E_{\max} + E_{\min})/2 \quad (2)$$

або як

$$E_{\text{сеп}} = (1/T) \int_0^T E(t) dt, \quad (3)$$

де $E(t)$ — залежність освітленості від часу; T — період коливань.

Там же [3] зазначено, що середні значення, обчислені за цими формулами, можуть відрізнятися.

У російському стандарті [4] зміст середнього значення уточнюється, наводиться повна формула для розрахунку коефіцієнта пульсації, як це пропонується у [3]:

$$K_n = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{(2/T) \int_0^T E(t) dt} \cdot 100, \quad (4)$$

Очевидно, що результати розрахунку середньої освітленості за формулами (2) — (4) у деяких випадках можуть виявитися різними.

Світлотехнічне товариство Північної Америки для описання пульсації використовує величину percent flicker (4) і flicker index [5], із яких, на нашу думку, percent flicker визначає саме величину, подібну до коефіцієнта пульсації світла:

$$\text{percent flicker} = \frac{(E_{\max} - E_{\min})}{(E_{\max} + E_{\min})} \cdot 100. \quad (5)$$

Отже видно, що поняття середнього значення освітленості різні джерела інформації трактують по-різному. Зрозуміло, що для синусоїдальних сигналів розбіжності між наведеними вище формулами обчислення середнього значення будуть невеликі. У разі ж суттєвої відмінності спектра розподілу освітленостей за період часу t , вони будуть суттєвішими.

У [6] теоретично розглядалося, до чого може призвести така відмінність для різних форм залежності освітленості від часу. Для різних форм зміни освітленості величина середнього, обчислена за інтегралом, сильно залежить від конкретної форми; можливі відмінності в десятки відсотків від середнього, обчисленого як $(E_{\max} + E_{\min})/2$. Було проаналізовано особливості функцій залежності освітленості від часу і показано, що найменші похибки досягаються за використання зафіксованого в [1] визначення величини пульсації, причому середнє, використовуване у формулі, обчислюється як середнє між мінімальним і максимальним значеннями за формулою:

$$K_n = \frac{(E_{\max} - E_{\min})}{E_{\max} + E_{\min}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

Коефіцієнт пульсації за формулою 6, згідно із [6], співпадає з загальноєвропейським визначенням за суттю, але відрізняється за назвою [5].

Для характеристики форми зміни освітленості в [6] запропоновано параметр форми (ПФ) — величина, визначена як відношення величини, яка є середнім між мінімальною і максимальною освітленостями, до величини середнього, визначеного за допомогою інтеграла за періодом зміни:

$$\text{ПФ} = \frac{T \cdot (E_{\max} + E_{\min})}{2 \cdot \int_0^T E(t) dt}. \quad (7)$$

Такий підхід дозволяє уникнути вкрай незручного для метрологічних і законодавчих цілей використання вимірювань функції, зокрема, орієнтовно визначити складову загальної величини похибки вимірювання коефіцієнта пульсації, пов'язану з параметром форми.

Попри різноманітності підходів до оцінки середнього значення освітленості, наявні будівельні норми [1] не дають відповіді на питання, в який спосіб потрібно визначати цю величину. Таке положення створює проблему в процесі розроблення засобів виміральної техніки для вимірювання коефіцієнта пульсації.

Сучасна цифрова техніка дозволяє створювати вибірки значень освітленості, настільки щільні у часі, наскільки дозволяє швидкодія фотодіода, який забезпечує вимірювання освітленості. Але, згідно

з наявними вимогами, вважається, що мерехтіння світла з частотою, більшою за 300 Гц не є шкідливим для людини. Тобто, за максимальної частоти мерехтіння потрібно відслідковувати до 300 спалахів (зміни амплітуди) світла на секунду. Вимірити амплітуди цих спалахів за допомогою сучасної елементної бази цілком можливо. Тому можливо реалізувати вимірювання середнього значення освітленості як суми всіх вимічених значень освітленості, поділеної на кількість вимірювань. Отже, маємо усереднене значення.

Такий метод оцінки середнього значення освітленості запропоновано під час обговорення нової редакції ДБН В.2.5-28:2006 [7]

Значення коефіцієнта пульсації повинно визначатися як відношення напівсуми максимального (E_{\max}) і мінімального (E_{\min}) значень освітленості, вимірюваних протягом дискретного інтервалу часу, до саме усередненого виміреного значення освітленості ($E_{\text{уср}}$).

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{уср}}} \cdot 100 \% \quad (8)$$

У (8) під середнім значенням розуміють суму всіх вимічених значень освітленості, поділену на кількість вимірювань. При цьому програмне забезпечення дозволяє задавати дискретизацію часових інтервалів вимірювань, кількість вимірювань за одну секунду, загальну тривалість вимірювань і встановлювати граничні значення освітленості, які необхідно задавати для усунення із певної вибірки аномальних величин освітленості, які не повторюються в межах тривалості вимірювань. Окрім того, збільшення частоти вимірювань коефіцієнта пульсації дозволяє точно вимірювати усереднене значення освітленості, що, в свою чергу, сприяє підвищенню точності вимірювань.

У разі, коли аналізуються пульсації від джерел світла, які живляться від мережі змінного струму, тобто форма пульсації близька до синусоїдальної, можна використовувати спрощену формулу для розрахунку пульсації, а саме, формули (5) або (6).

У формулах (5), (6) як середнє використовують середнє арифметичне значення. За використання для розрахунку пульсації формул (5), (6) коефіцієнт пульсації, очевидно, ніколи не може перевищити значення 100 %. Якщо ж за розрахунку пульсації як середнє використати, наприклад, середньоквадратичне значення, то, за наявності у вимірюваному світловому потоці коротких за часом, але великих за амплітудою пульсацій, розрахований за формулою (1) коефіцієнт пульсації може значно перевищити 100 %, що, треба сказати, цілком допустимо.

Отже, розрахунок пульсації за формулою (5) припустимий лише для світлового потоку, коливання якого близькі до гармонічних. За наявності у світловому потоці значної імпульсної складової потрібно для розрахунку коефіцієнта пульсації застосовувати формулу (4). У загальному випадку формулу (5) для розрахунку коефіцієнта пульсації освітленості або яскравості можна застосовувати лише за прямого підключення джерела світла до мережі змінного струму або за використання електронної пуско-регулювальної апаратури (ЕПРА).

За використання ЕПРА, електронних драйверів, регуляторів потужності (диммерів), а також за вимірювання коефіцієнта пульсації яскравості моніторів для розрахунку коефіцієнта пульсації потрібно застосовувати формулу (4), спрощеним варіантом якої є формула (8).

ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПУЛЬСАЦІЇ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Для вимірювання освітленості, створюваної джерелами природного і штучного світла, яскравості самосвітних та несамосвітних об'єктів, а також коефіцієнта пульсації джерел світла, частота пульсації яких не перевищує 300 Гц, розроблено та впроваджено у серійне виробництво фотометр (цифровий люксметр-яскравомір-пульсметр) «Екотензор-03».

Прилад розроблявся на основі оптичної та фотометричної схем серійного фотометра ТЭС 0693 і зберігає усі його метрологічні характеристики (таблиця) [8, 9].

Прилад характеризується високою точністю, яка досягається, в тому числі, застосуванням спеціалізованого фотодіода та світлофільтрів (рис. 1), відповідно до вимог СОУ МПП 29.200-024 до перетворювачів I і II класів із похибкою:

- в діапазоні довжин хвиль від 0,4 до 0,75 мкм ($|\Delta_{\max}|$), не більшою за 3 %, для I класу і за 5 % для II класу;
- в діапазоні довжин хвиль від 0,3 до 0,4 мкм ($\alpha_{\text{уф}}$), не більшою за 0,5 %, для I класу і за 1 % для II класу;
- в діапазоні довжин хвиль від 0,75 до 1,2 мкм ($\alpha_{\text{ич}}$), не більшою за 0,5 %, для I класу і за 1 % для II класу.

За вимірювання коефіцієнта пульсації освітленості $K_{\text{п}}$ його значення визначається як відношення напівсуми максимального (E_{\max}) і мінімального (E_{\min}) значень освітленості, вимірюваних протягом певного дискретного інтервалу часу, до саме усередненого виміреного значення освітленості ($E_{\text{уср}}$) згідно з формулою (8).

Таблиця

Table

Характеристика	Норма
Спектральний діапазон вимірювань, нм	380 — 780
Діапазон вимірювання освітленості, лк	
* від довільно розташованого протяжного (неточкового) джерела з установленою на головку фотометричну косинусною насадкою	0,1 — $2 \cdot 10^5$
* від точкового джерела (без косинусної насадки)	0,01 — $2 \cdot 10^4$
Межі допустимої основної відносної похибки вимірювання освітленості в діапазоні від 0,1 лк до $2 \cdot 10^5$ лк, не більше, %	± 5
Діапазон вимірювання яскравості, Кд/м ²	1 — $2 \cdot 10^5$
Межі допустимої основної відносної похибки вимірювання яскравості, не більше, %	± 7
Діапазон вимірювання коефіцієнта пульсації, %	1 — 100
Межі допустимої основної відносної похибки вимірювання коефіцієнта пульсації, не більше, %	± 10
Частотний діапазон вимірювання коефіцієнта пульсації, Гц	10 — 300
Межі допустимої додаткової похибки, зумовленої зміною температури навколишнього повітря, (температурної похибки) від $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ у межах діапазону робочих температур, не більше	$\pm 0,2\%$ на 1°C
Межі допустимої додаткової похибки, зумовлені зміною кута падіння потоку випромінювання на фотометричну головку (косинусної похибки), не перевищують:	
▲ за кута падіння 30° , %	± 2
▲ за кута падіння 60° , %	± 5
▲ за кута падіння 80° , %	± 15
Живлення здійснюється від убудованої батареї гальванічних елементів напругою, В	3
Споживана потужність, не більша, Вт	0,5
Час установлення робочого режиму, не більший за, сек	10

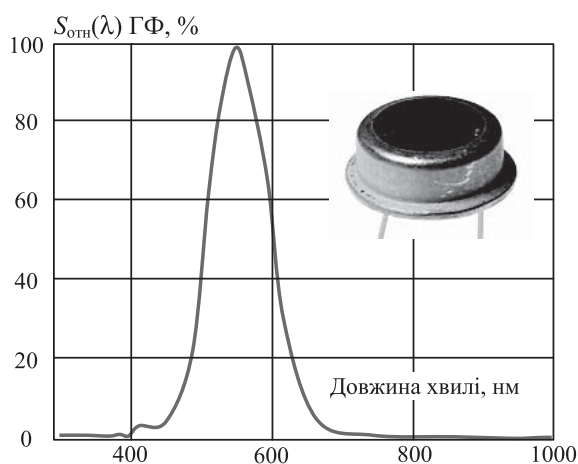


Рис. 1. Спектральна характеристика чутливості фотометричної головки для фотометра

Fig. 1. The spectral sensitivity photometric characteristics heads for photometer

Прилад складається з блока відображення інформації (1), головки фотометричної ГФ-02 (2) з насадкою косинусною і насадки для вимірювання яскравості.

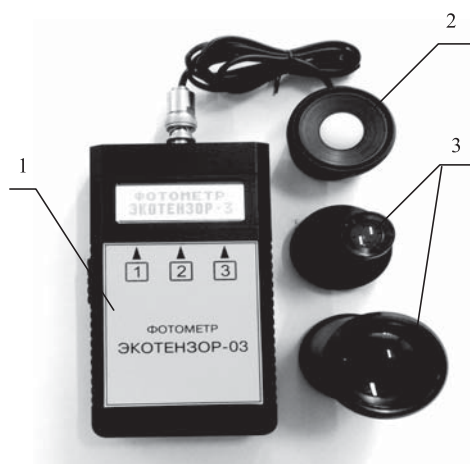


Рис. 2. Фотометр «Екотензор-03»

Fig. 2. Photometer «Ekotenzor-03»

Зовнішній вид приладу наведено на рис. 2.

На лицевій стороні приладу розміщено чотири-рядкове цифрове табло та три кнопки керування, функції яких змінюються в процесі роботи з приладом. Інформація щодо призначення кожної клавіші

в певний момент виводиться в четвертому (нижньому) рядку табло над клавішею.

На верхньому торці приладу встановлено роз'єм типу CP-50-73П для під'єднання головки фотометричної.

На лівій боковій стінці приладу розміщено вимикач напруги живлення, на правій — роз'єм для підключення приладу до комп'ютера.

Вимірювання освітленості від точкових джерел виконують з косинусною насадкою або без неї. За вимірювання яскравості замість косинусної насадки на головку фотометричну (ГФ) встановлюють насадку для вимірювання яскравості, яку розміщують на відстані (300 ± 3) мм від поверхні об'єкта, яскравість якого вимірюється.

Структурну схему приладу наведено на рис. 3.

Принцип роботи фотометра базується на перетворенні електричного сигналу з фотодіода в цифрові значення відповідних параметрів за допомогою мікропроцесора і подальшому передаванні вимірюваних і розрахованих значень на зовнішній пристрій індикації (5) — рідкокристалічний індикатор. А саме, світловий сигнал від джерела випромінювання, який надійшов на фоточутливий елемент головки фотометричної, генерує фотострум, що перетворюється ПСН (3) на пропорційні йому напруги постійного струму.

Напруги фотосигналу з виходів ПСН (3) надходять на аналоговий вхід МК (4), до функцій якого входять:

- вимірювання аналогових напруг;
- розрахунок освітленості, яскравості й коефіцієнта пульсації;
- виведення результатів вимірювання та розрахунків на індикатор;
- обслуговування роботи клавіатури.

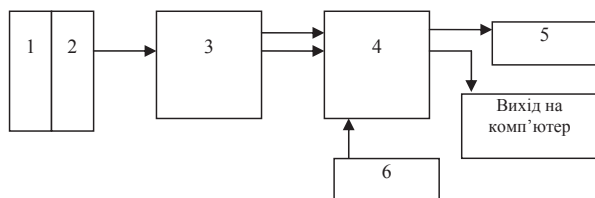


Рис. 3. Структурна схема приладу:

1 – змінна насадка (косинусна або насадка для вимірювання яскравості); 2 – головка фотометрична ГФ-02; 3 – прецизійний регульований перетворювач струм-напруга (ПСН); 4 – мікроконтролер (МК); 5 – рідкокристалічний індикатор (РКІ) 16 × 4; 6 – клавіатура

Fig. 3. Block diagram of the device.

1 - variable nozzle (nozzle or cosine measure of brightness); 2 - head photometric GF-02; 3 - adjustable precision current-voltage converter (CVC); 4 - microcontroller (MC); 5 - liquid crystal display (LCD) 16 × 4; 6 - keypad

Результати вимірювання можна зберігати в енергонезалежній пам'яті приладу, яка може одночасно зберігати 4000 значень. За необхідності результати вимірювання можна скопіювати на жорсткий диск персонального комп'ютера за допомогою спеціальної програми. Очистити всю пам'ять можна, обравши рядок меню «УДАЛЕНИЕ».

Величина розрахованої освітленості виводиться на РКІ. З мікроконтролера на РКІ також виводиться оперативна інформація.

Роботу приладу для користувача побудовано за принципом змінних МЕНЮ — змінних екранів.

Розроблено ПЗ для передавання результатів вимірювання та службової інформації до персонального комп'ютера (ПК) за допомогою USB порту, а також для аналізу та опрацювання даних, отриманих від ЗВТ, в ПК розроблено відповідний інтерфейс, сумісний з операційною системою Windows (XP або вище). Зовнішній вид цього інтерфейсу наведено на рис. 4. Дані зберігаються у комп'ютері у файлі під іменем, яке необхідно задати користувачу, у форматі *.TXT.

Коефіцієнт активності у розробленого приладу аналогічний коефіцієнту активності фотометра ТЕС 0693, оскільки всі (оптична і фотометрична) частини приладу виконано за схемою його прототипу — ТЕС 0693, тобто його коефіцієнт активності близький до одиниці. Цей факт — дуже суттєвий за вимірювань характеристик світлодіодів з білим кольором випромінювання, оскільки ці джерела світла за своїми світловими характеристиками відрізняються від джерела типу А, яке використовується для калібрування практично всіх наявних люксметрів [10]. Згідно з дослідженнями О.Д. Купка [11, 12] коефіцієнт активності відомих люксметрів, окрім ТЕС 0693, несуттєво відрізняється від одиниці за калібрування за допомогою джерела типу А

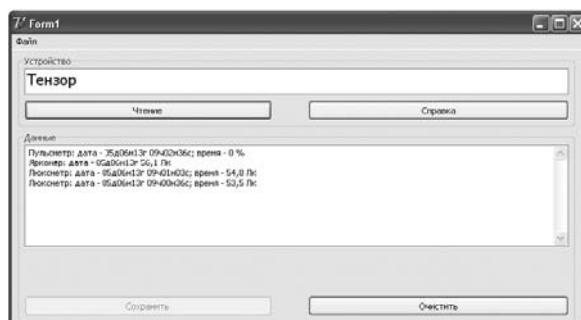


Рис. 4. Інтерфейс для фотометра «Екотензор-03» для передавання і відображення результатів вимірювання в ПК

Fig. 4. Interface for photometer «EKOTENZOR-03» of the transmission and display measurement results to a PC

й істотно відрізняється від неї за вимірювання параметрів випромінювання інших, у тому числі монохроматичних, джерел. Отже, фотометр «Екотензор-03» найкраще підходить для вимірювань світлових потоків, що створюються надзвичайно популярними нині світлодіодними джерелами світла.

Фотометр «Екотензор-03» доопрацьовано у 2016 році з метою врахування вимог ДСТУ ISO/CIE 19476:2014, IDT [13].

Особливістю модернізованої версії фотометра є розширення діапазону вимірювання освітленості, який складає від 10^{-3} до $2 \cdot 10^5$ лк.

Такий результат досягнуто внаслідок застосування фотодіода більшої чутливості та попереднього підсилювача фотосигналу, який характеризується малою напругою зміщення (1 мкВ), малим вхідним дрейфом зміщення (0,005 мкВ/°C), а також високим коефіцієнтом підсилення, CMRR, PSRR (130 дБ). Окрім того, підсилювач має наднизькі значення вхідного струму — 20 пА та низький струм споживання — 700 мкА. Розмах вхідної напруги — від -2,7 до 2,7 В. Швидкодія його складає до $1,5 \times 10^{-6}$ с.

Зазначений попередній підсилювач обрано саме для того, щоби працювати, з одного боку, з малою освітленістю, з другого боку, для набору представницької вибірки фотосигналів для визначення усередненого значення освітленості, виміреного за певний час. Дійсно, час зростання перехідної характеристики фотодіода (швидкодії), який приймає світловий потік, складає не більше 10^{-5} с. З урахуванням швидкодії попереднього підсилювача ($1,5 \times 10^{-6}$ с) видно, що він цілком здатний опрацьовувати фотосигнали малої тривалості, які здатен відслідковувати фотодіод. Це є суттєвим за вимірювання імпульсних оптичних сигналів різноманітних джерел світла з нестандартним спектром, які мають параметр форми [6] такий, що значно відрізняється від одиниці. З другого боку, частота роботи АЦП мікроконтролера, з якою він здійснює вибірку фотосигналів із підсилювача, складає 25 кГц. Це означає, що за одну секунду фотометр здійснює вимірювання 25000 ра-

зів за секунду. Із цієї вибірки обираються найбільше і найменше значення освітленості, а також визначається усереднене значення освітленості за період вимірювань як сума 25000 освітленостей, поділена на їх кількість.

Зрозуміло, що за такого підходу, коли за певний інтервал часу точно вимірюються усі складові для формули (8), параметр форми має несуттєве значення. У разі ж, якщо оперувати лише максимальним та мінімальним значеннями освітленості, визначеними за певний інтервал вимірювання, параметр форми потрібно враховувати.

Власне, завдяки програмному забезпеченню фотометра, обчислення результату вимірювання коефіцієнта пульсації може здійснюватися за будь-якою формулою, з урахуванням будь-якого коефіцієнта, які визначатимуться метрологічною спільнотою та оформлені належним чином у відповідному ДСТУ.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз формул, пропонованих нормативною документацією різних країн для розрахунку коефіцієнта пульсації джерел світла. Показано, що у більшості з них не визначено поняття середнього значення освітленості.


2. Запропоновано під середнім значенням освітленості розуміти усереднене значення, яке визначається як сума усіх вимічених значень освітленості, поділена на кількість значень.

3. Розроблено та серійно випускається перший вітчизняний фотометр «Екотензор-03» для вимірювання коефіцієнта пульсації джерел світла із діапазоном вимірювання освітленості у вісім порядків — від 10^{-3} до 2×10^5 лк, конструкція та програмне забезпечення якого дозволяють здійснювати 25000 вимірювань освітленості за секунду та розраховувати коефіцієнт пульсації незалежно від параметра форми пульсацій джерела світла.

Автори висловлюють щирі подяки д.т.н. О.Д. Купку за допомогу у підготовці статті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне устаткування будівель і споруд. Природне і штучне освітлення. — Мінбуд України. — Київ (ДБН В.2.5-28-2006. Engineering equipment of buildings and structures. Natural and artificial lighting.- Minstroy Ukrainy.-Kyev.-2006-C. 76. Approved 15.05.2006). — 2006. — С/Р. 76. Затверджені 15.05.2006.
2. Баранов В. Удосконалення державного первинного еталона одиниці сили світла / Баранов В., Балабан В., Бондаренко Л., Гріщенко Л., Гурьев М., Купко О., Тимофеев Є., Терещенко В. //Український метрологічний журнал (Baranov V. Improving the state primary standard unit of luminous intensity / Baranov V., Balaban V., Bondarenko L., Gryshchenko L., Gurieva M., Kupco O., Timofeev E., Tereshchenko V. // As Ukrainian Metrological Journal). — № 1. — 2016. — С/Р. 37—42.
3. Купко О. Д., Терещенко В.В. Напрямки удосконалення метрологічного забезпечення вимірювань коефіцієн-

- та пульсацій // Метрологія та прилади (Kupko O.D., Tereshchenko V.V. Areas of improvement of metrological support of measurement of the coefficient of pulsations // *Metrolohiya and instruments*). — 2016. — № 4. С/Р. 27—31.
4. ГОСТ Р 54945-2012. Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности [чинний від 2012-12-19]. Стандартинформ — М.: (ГОСТ Р 54945-2012. Buildings and constructions. Methods for measuring the coefficient of pulsating illumination [Approved 12.19.2012]. Standartinform — M.:) 2012. 12 с/р.
 5. IESNA Lighting Handbook Hardcover – July, 2000 by Illuminating Engineering Society of North America (Author), Mark Stanley Rea (Editor).
 6. Купко О.Д. Розробка принципів метрологічного забезпечення пульсметрів / Купко О.Д. // Метрологія та прилади (Kupko O.D. Development of principles metrological support pulsmeters / O.D. Kupko // *Metrology and instruments*). — 2016. — № 3. — С/Р. 37—42.
 7. Шабашкевич Б.Г. Фотометры НПФ «Тензор» для измерения параметров световой среды на соответствие новой редакции ДБН В.2.5-28:2006 / Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольский // Промислова електроенергетика та електротехніка (Shabashkevich BG Photometers RDC «Tensor» for measuring the parameters of the light environment for compliance with the new version of the DBN V.2.5-28: 2006 / B.G. Shabashkevich, Y.G. Dobrovolsky // *Promyslova elektroenergetika and elektrotehnika*). — 2015. — № 4. — С/Р. 6—9.
 8. Шабашкевич Б.Г. Современный цифровой прибор для измерения характеристик световой среды / Б.Г. Шабашкевич, Ю.Г. Добровольский, С.В. Мамаев, В.В. Кушин // Світлотехніка та електроенергетика (Shabashkevich B.G. Modern digital device for measuring the characteristics of the light environment / B.G. Shabashkevich, Y.G. Dobrowolski, S.V. Mamaev, V.V. Kushin // *Svitlotekhnika and elektroenergetika*). — 2013. — № 1. — С/Р. 44—49.
 9. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://tenzor.ua>.
 10. Дідух Н.І. Радіометрія і метрологія світлодіодів / Дідух Н.І., Міхеєнко Л.А., Свешніков В.С. // Вісник НТУУ «КПІ». — Серія Приладобудування (Didukh N.I. Radiometry and metrology LEDs / Didukh N.I., Miheyenko L.A., Sveshnikov V.S. // *Herald «KPI»*. — Seriya Instrument). — 2010. — № 40. — С/Р. 46—54.
 11. Купко А.Д. Светотехнические измерения на железнодорожном транспорте / А.Д. Купко, С.Г. Чуб // Український метрологічний журнал (Kupko A.D. Light measurements in rail transport / A.D. Kupko, S.G. Chub // *Ukrainsky metrologichny magazine*). — 2010. — № 1. — С/Р. 31—36.
 12. Бутенко В.М. Сравнительный анализ измерений светотехнических изделий транспортного назначения / В.М. Бутенко, А.Д. Купко, С.Г. Чуб. // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту (Butenko V.K. Comparative analysis of the measurements of lighting products transport destination / V.K. Butenko, A.D. Kupko, S.G. Forelock. // *Collection Naukova Prace Ukraïnskoï derzhavnoï Academy Zaliznicnovo transport*). — 2009. — № 110. — С/Р. 109—121.
 13. ДСТУ ISO/CIE 19476:2014, IDT Вимоги до характеристик приладів для вимірювання освітленості та яскравості. — чинний від 2016-01-01 (ДСТУ ISO/CIE 19476:2014, IDT Requirements for appliances for measuring light and brightness. — Valid from 01.01.2016. CIE Central Bureau, Vena, 2014. — 38 p. (Interstate standard of Ukraine)). CIE Central Bureau, Vena, 2014. — 38 с/р. (Міждержавний стандарт України). 

Отримано / received: 07.11.2016.

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