УДК 535.24

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ АПАРАТУРИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИМІРЮВАНЬ СВІТЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

О. М. Ляшенко
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
м. Харків, Україна

***Анотація*- Проведено аналіз існуючих засобів вимірювальної техніки для визначення світлотехнічних характеристик джерел випромінювання або світлових приладів (світлового потоку, кривої сили світла, коефіцієнту корисної дії) для усунення їх недоліків і забезпечення оперативного і точного контролю характеристик сучасного світлотехнічного обладнання. Розроблено новий засіб вимірювальної техніки для реалізації завдання автоматизації і суміщення вимірювання світлотехнічних характеристик світлодіодних джерел світла і приладів на їх основі.**

Ключові слова - засоби вимірювання характеристик світлодіодів, фотометр, автоматизація вимірювань характеристик, освітленість.

I. Постановка проблеми

На сьогодні існує безліч вимірювальних приладів для визначення різних світлотехнічних характеристик випромінювачів: люксметри – для визначення освітленості, яскравоміри – для визначення яскравості, інтегруючі фотометри – для визначення світлового потоку, гоніофотометри – для автоматизованого визначення просторового фотометричного тіла, з якого можна отримати просторовий розподіл сили світла (КСС), світловий потік. Однак при застосуванні існуючої вимірювальної техніки і методик визначення характеристик для отримання кривих сил світла витрачається багато часу. Крім того, не існує приладу для одночасного вимірювання всіх наведених вище світлотехнічних характеристик випромінювачів. Разом з цим при відсутності обов'язкової сертифікації світлодіодної продукції, перелік і обсяги якої значно збільшилися на українському ринку освітлювальної техніки китайського виробництва забезпечує цій продукції відносно низьку ціну, але при цьому не завжди достатню якість.

Незважаючи на значний попит на світлодіодні джерела випромінювання в рамках програми енергозбереження і легкість їх використання, залишаються певні складності.

Для досягнення енергоефективності і безпеки застосування світлодіодних освітлювальних систем і окремих світлодіодів недостатньо існуючих засобів контролю світлотехнічних характеристик світлодіодної продукції з урахуванням характерного для цих джерел випромінювання вузько спрямованого світлорозподілу, високої інтенсивності і габаритної яскравості відповідно до класів її безпеки.

Параметри світлодіодів – сучасних об'єктів дослідження – в значній мірі відрізняються від усіх, що існували до них джерел світла, в зв'язку з цим гостро постала необхідність розробки засобів і методик виміру їх параметрів, тому як класичні варіанти використання традиційних засобів вимірювань застосовні лише в загальних випадках, і, як показали проведені раніше розрахунки і практичні приклади, не можуть мати необхідну достовірність [1]. Необхідні інші прилади і підходи до вимірювань світлових характеристик світлодіодів для оперативної і точної оцінки їх якості і безпеки застосування. Таким чином, метою статті є розробка засобу вимірювальної техніки, який би дозволив автоматизувати збирання і обробку інформації вимірів для швидкого і достовірного визначення декількох характеристик випромінювачів, насамперед – світлодіодів і світлових приладів на їх основі.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз існуючих засобів вимірювальної техніки для визначення світлотехнічних характеристик (світлового потоку, кривої сили світла), для виявлення переваг і недоліків цих засобів;

- розробити новий засіб вимірювальної техніки, що дозволить реалізувати поставлені завдання автоматизації і суміщення вимірювання багатьох характеристик для усунення недоліків.

II. Аналіз існуючих засобів вимірювання

Сучасні промислові фотометри різного призначення, що застосовуються для вимірювання світлотехнічних характеристик джерел випромінювання або приладів спектральному діапазоні від 0,38 до 0,76 мкм, надані в таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

№	Назва засобу вимірювань	Вимірювана статистика	Діапазон вимірювання	Точність вимірювання	Виробник
1	Фотометр цифровий ТЕС 0693	Природна і штучна освітленість, еквівалентна яскравість протяжних об'єктів	10-1 – 105 лк 10 – 2х105 Кд/м2	± 5 % ± 7 %	НПФ «Тензор», (м. Чернівці, Україна)
2	Люксметр типу ItSTO 540	Природна і штучна освітленість	0…99 999 люкс	± 8,0%	Фірма TESTO. (Німеччина)
3	ЕКОТЕНЗОР-03	Природна і штучна освітленість, еквівалентна яскравість протяжних об'єктів	0,01 – 2х105 1 – 2х105 Кд/м2	не більше ± 5 % не более ± 7 %	НПФ «Тензор», (м. Чернівці, Україна)
4	Люксметр DER EE DE – 3350	Природна і штучна освітленість	0,1 – 19990 лк	+ 4%	Electrical instrument Co, LTD (Тайвань)
5	Люксметр/ яскравомір ТКА-ПКМ	Освітленість, яскравість	10 – 200000 лк 10 – 2х105 Кд/м2	± 8 % ± 10 %	НТП «ТКА». (Росія)
6	Люксметр ТКА-Люкс	Природна і штучна освітленість	10 – 200000 лк	+ 6-8%	НТП «ТКА», (Росія)
7	Люксметр POCKET-LUX2	Природна і штучна освітленість	10 – 200000 лк	< 5% (Клас А) < 7% (Клас В)	LMT (Німеччина)
8	Гоніофотометр	Просторовий розподіл сили світла (КСС)	75 – 588 000 кд	для джерела типу А: U (I) ≤ 2,5 % (k=2)	Компанія EVERFINE (Китай)
		Освітленість	0,0001 – 200000лк	Δ (кута) = ±0,05°	
		Світловий потік	1 – 300 000 лм	δ (I) = ±5 %,	

До сучасних фотометрів як до робочих засобів вимірювання пред'являються жорсткі вимоги по точності визначення освітленості, яскравості і світлового потоку безперервного випромінювання – їх похибка має бути на рівні 3 – 5%.

Як видно з табл. 1 сучасні засоби вимірювання світлотехнічних характеристик розроблені переважно для вимірювання однієї – двох характеристик, за винятком гоніофотометра, що вимірює комплекс характеристик, але є громіздким і витрачає багато часу для отримання просторового розподілу випромінювання тестового джерела світла або приладу. Крім того, значення світлового потоку отримуємо не в результаті вимірювань, а визначається за гоніофотометричним методом з обертовим джерелом світла та фіксованим приймальним пристроєм, що виконує вимірювання у системі площин С, □ [2] за результатами вимірювання фотометричного тіла розподілу випромінювання в просторі на гоніофотометрі і перерізі його в потрібній площині для визначення кривої сили світла.

Методика вимірювання потоку гоніофотометром [3] полягає у вимірюванні сили світла точкового ДС у великій кількості заздалегідь обраних напрямків. Для цього простір, що оточує ДС, ділиться на певну кількість площин, і вимірюється інтенсивність випромінювання у всіх напрямках, що лежать в межах кожної площини [4]. Вважається, що у межах достатньо малих тілесних кутів d□, побудованих навколо кожного з цих напрямків вимірювання, сила світла джерела Ii практично однакова, а світловий потік dФ, який заповнює кожний із тілесних кутів d□, є добутком . Отже, повний світловий потік джерела можливо отримати за формулою [5, 6]:

$$\Phi = \int_{\omega} I_i d\omega \qquad (1)$$

При застосуванні методу еталонного приймача для калібрування фотометричної голівки гоніофотометра останній виконує вимірювання в одиницях освітленості – люксах, що є звичайною практикою [7,8]. За визначенням, освітленість – це щільність світлового потоку в межах освітлюваної поверхні, тобто $E = \frac{d\Phi_v}{dA}$, звідси світловий потік. $\Phi_v = \int E(A)dA$, де вважається, що dA – елементарна ділянка сфери а освітлюється джерелом світла на відстані r , тобто вираз (1) приймає вигляд:

$$\Phi_v = r^2 \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta}^{\pi} E(\theta,\varphi)\sin\theta d\theta d\varphi \qquad (2)$$

На практиці інтеграл замінюється сумою і вираз для визначення світлового потоку за просторовим розподілом сили світла набуває вигляду:

$$\Phi_v = 2\pi r^2 \sum_{\theta=0} E(\theta,\varphi)(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \qquad (3)$$

Для забезпечення високої точності вимірювань гоніофотометром необхідно проводити вимірювання з кроком $\pm$ 2°, що призводить до значного збільшення часу і вартості вимірювань та їх подальшої обробки. Для усунення вказаних вище недоліків і автоматизації вимірювань було запропоновано конструкцію фотометру волоконнооптичним фоконом [9].

Разом з цим на даний час все більш широке застосування при вимірюваннях яскравості та інших світлотехнічних характеристик знаходять прилади на основі сучасних цифрових камер з ПЗС-матрицею у поєднанні з портативним комп'ютером, що дозволяє отримувати об'ємну картину зображень освітленої поверхні, що сканують [12]. Сучасні кольорові відеокамери з ПЗС-матрицею забезпечують вимірювання освітленості, починаючи з декількох люкс [13].

Слід зазначити, що спеціалізованих фотометричних камер поки не розробляють, тому існуючі камери необхідно забезпечувати коригуючими світлофільтрами, в зв’язку з тим, що максимум спектральної чутливості ПЗС-матриць знаходиться в ІЧ-диапазоні.

Для проведення світлотехнічних вимірювань часто потрібні вимірювачі енергетичних характеристик із вхідною апертурою приймача, що значно перевищує вище наведене значення. Для забезпечення проведення таких вимірювань додатково цифровий вимірювач може комплектуватися волоконнооптичними фоконними перетворювачами, що дозволяють забезпечити вхідну апертуру приймача до 500мм [13].

Для вимірювання енергетичних характеристик світлодіодів вимірювач може комплектуватися фотометричною сферою.

Використання в якості послаблення цифрового вимірювача комбінованого світлофільтру на основі набору оптичного скла типів СЗС, ЗСС та ЖСС дозволяє створити компактний фотометр-люксметр.

З урахуванням наведених вище міркувань для автоматизації збору і обробки інформації вимірів та для швидкого і точного визначення декількох характеристик світлодіодів або світлодіодних світлових приладів – КСС, освітленості – було розроблено фотометр [9] на основі волоконнооптичного фокону і фотоприймальної матриці з коригуючим світлофільтром (рис.1).

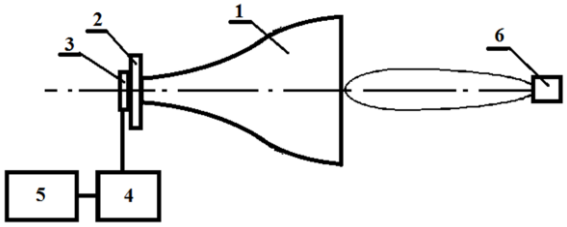


Рис 1. Схема фотометру з автоматизованим визначенням параметрів випромінювання:

1 – волоконнооптичний фокон; 2 – світлофільтр; 3 – фотоприймальна матриця; 4 – блок обробки інформації; 5 – блок візуалізації; 6 – джерело випромінювання

Конструкція і принцип дії розглянуті далі.

III. ФОТОМЕТР З АВТОМАТИЗОВАНИМ ВИЗНАЧЕННЯМ ПАРАМЕТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Методика вимірювання світлового потоку гоніофотометром полягає в тому, щоб виміряти силу світла або освітленість від джерела у всіх напрямках. Для цього простір, що оточує джерело, ділиться на кілька площин і вимірюється інтенсивність випромінювання у всіх напрямках, що лежать в межах кожної площини. При цьому вимірюваний об'єкт (джерело світла або світловий прилад) встановлюється в пристрій обертання, який повертає вимірюваний об'єкт так, щоб випромінювання вимірюваного джерела світла в різних напрямках, які визначаються програмою вимірювань, послідовно потрапляло на фотоприймач. Результати вимірювань обробляються в блоці обробки інформації і у вигляді таблиць результатів вимірювань або графіків, наприклад, кривих сили світла надходить в блок візуалізації.

Недоліками даного пристрою є його громіздкість, висока ціна, тривалість проведених вимірювань, а також необхідність спеціального приміщення, так як відстань від джерела випромінювання до фотоприймача зазвичай становить близько 10 метрів.

Найбільш близьким за технічною сутністю до запропонованого є обраний в якості прототипу фотометр [2], який складається із встановлених уздовж оптичної осі волоконнооптичного фокону (рис.2) і фотоприймача, блоку обробки інформації, блоку

візуалізації.).



а)



б)

Рис 2. Волоконнооптичний фокон

Для проведення світлотехнічних вимірювань часто потрібні вимірювачі енергетичних характеристик із вхідною апертурою приймача, що значно перевищує розміри апертури фотоприймача. У фотометрі в якості перетворювача вхідної апертури використовується волоконнооптичний фокон, що зменшує масштаб зображення в десятки разів, що дозволяє направити весь світловий потік на фотоприймач. Перетворений фотоприймачем електричний сигнал надходить в блок обробки інформації і після необхідних перетворень надходить в блок візуалізації, де відображається інформація про проведені вимірювання. Недоліком цього фотометра є те, що він не призначений для вимірювання світлового потоку, що розповсюджується від джерела випромінювання під різними кутами, а служить для вимірювання сумарного сигналу, що падає на фокон. Крім того, він призначений для вимірювання енергетичних, а не світлотехнічних характеристик оптичного випромінювання.

В основу корисної моделі [9] поставлена задача удосконалення конструкції фотометра, в якому завдяки використанню спеціального фотоприймача і фотофільтру забезпечується можливість використання фотометра для вимірювання світлотехнічних характеристик випромінювання, яке йде під різними кутами, що покращує і розширює технічні характеристики і ефективність використання фотометра. Зокрема, дозволяє прискорити і автоматизувати процес вимірювань.

Поставлена задача вирішується тим, що в фотометрі, який складається з встановлених уздовж оптичної осі впритул волоконнооптичного фокону і фотоприймача, блоку обробки інформації та блоку візуалізації, відповідно до корисної моделі, в якості приймача випромінювання використовується фотоприймальна матриця з встановленим перед нею світлофільтром.

На рис. 1 наведена схема фотометра, на якому 1 – волоконнооптичний фокон; 2 – світлофільтр; 3 – фотоприймальна матриця; 4 – блок обробки інформації; 5 – блок візуалізації; 6 – джерело випромінювання.

Джерело випромінювання 6 встановлюється уздовж оптичної осі, вздовж якої встановлено волоконнооптичний фокон 1, світлофільтр 2 і фотоприймальну матрицю 3. При цьому всі три елементи фотометра встановлюються впритул. Сучасні джерела світла – світлодіоди – і більшість світлових приладів на їх основі мають направлене випромінювання, що дозволяє ефективно використовувати конструкцію запропонованого фотометра для світлотехнічних вимірювань. Джерело випромінювання встановлюється так, щоб все випромінювання потрапляло на приймальну поверхню волоконнооптичного фокону 1. Можуть бути використані фокони з різною вхідною апертурою в залежності від вимірюваного джерела світла або світильника (до 500 мм). При цьому структура фокону мовби розділяє падаюче на нього випромінювання по кутам. Чим більше кут поширення світлового потоку випромінювання вимірюваного джерела, тим далі від оптичної осі він потрапить на приймальню поверхню волоконнооптичного фокону. Після проходження через фокон випромінювання потрапляє на світлофільтр.

Світлофільтр розраховується і виготовляється відомими методами [3] і перетворює результати енергетичних вимірювань відповідно до відносної спектральної характеристики чутливості людського ока. Оскільки спектральна похибка приладу визначається корекцією спектральної характеристики чутливості системи «волоконнооптичний фокон + світлофільтр + фотоприймальна матриця» (Sвідн (λ) системи) під криву відносну спектральну світлову ефективність монохроматичного випромінювання для денного зору (V (λ)) відповідно до рекомендацій МКО для засобів вимірювання характеристик світлодіодів [5], то при пропонуємій контрукції фотометру для отримання результатів розподілу кривої сили світла в потрібному спектральному діапазоні, що відповідає чутливості ока людини, відносні спектральні чутливості волокоонноптичного фокону, світлофільтру і ПЗС матриці підбираються таким чином, щоб ця похибка такого фотометру не перевищувала 3 – 5 %. Для оцінки похибки корекції фотоприймача за методикою МКО [5, 10] виконується її розрахунок, який базується на відмінності реакції на випромінювання ідеального приймача, таблиця значень спектральної чутливості якого відома, і реального приймача, відносний спектральний розподіл якого відрізняється від того при якому було проведено градуювання:

$$f_1 = 1 - \frac{\int S(\lambda) S_{\phi від н}(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\int S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{S_A(\lambda) S_{\phi від н}(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

де S(λ) – відносна спектральна чутливість світлодіодного джерела світла;

SA (λ) – відносний спектральний розподіл стандартного джерела МКО типу А;

V (λ) – відносна спектральна світлова ефективність випромінювання для стандартного фотометричного спостерігача МКО;

$S_{ф}$відн(λ) – відносна спектральна чутливість системи «волоконнооптичний фокон + світлофільтр + фотоприймальна матриця».

Потім випромінювання потрапляє на фотоприймальну матрицю 3, яка зберігає кутовий розподіл випромінювання вимірюваного джерела світла 6. Як фотоприймальну матрицю можна використовувати, наприклад, МФ-14, що має одну тисячу двадцять чотири елементи розміром 0,1 х 0,1 мм кожен. При цьому необхідно, щоб розмір матриці був більше вихідної площадки фокону. Результати вимірювань з фотоприймальної матриці направляються в блок обробки інформації 4. У блоці обробки інформації в результати вимірювань вводяться поправки, що враховують відстань, на якій встановлюється джерело випромінювання, різні кути падіння випромінювання на приймальну поверхню фокону, вплив світлопоглинання матеріалу волокна фокону, втрати на внутрішніх відбиттях, френелівські втрати [9]. Таким чином, в результаті обробки результатів вимірювань отримуємо значення, які відповідають різним напрямкам поширення випромінювання вимірюваного джерела. Результати вимірювань у вигляді таблиць або графіків, наприклад, ізолюксів або кривих сили світла потрапляють в блок візуалізації.

Таким чином, запропонована конструкція фотометра завдяки використанню фотоприймальної матриці і світлофільтру, забезпечує можливість вимірювати світлотехнічні характеристики випромінювання, що розповсюджується під різними кутами, тобто, використовувати фотометр в режимі гоніофотометру, не задіюючи при цьому пристрої обертання джерела світла. Це покращує і розширює технічні характеристики і ефективність використання фотометру. Зокрема, дозволяє прискорити і автоматизувати процес вимірювань, знизити вартість вимірювань. Пристрій може бути застосований у світлотехніці при вимірюванні світлотехнічних характеристик джерел світла та світлових приладів.

Похибка вимірювання розробленим приладом становить + 5%, що дозволяє використовувати для проведення обстеження діючих освітлювальних систем і приладів.

IV. Висновки

На основі аналізу існуючих засобів вимірювальної техніки для визначення світлотехнічних характеристик джерел випромінювання або світлових приладів (світлового потоку, кривої сили світла) було встановлено, що забезпечення високої точності вимірювань призводить до значного збільшення часу і вартості вимірювань та їх подальшої обробки.

Розроблено новий засіб вимірювальної техніки для реалізації завдання автоматизації і суміщення вимірювання світлотехнічних характеристик світлодіодних джерел світла і приладів на їх основі для усунення наведених вище недоліків.

Для оцінки похибки вимірювання просторового розподілу інтенсивності випромінювання у видимому діапазоні оптичного спектру при забезпеченні регламентованої стандартами точності фотометрами із застосуванням цифрових камер, необхідно провести дослідження спектральних характеристик чутливості матричних приймачів для визначення їх відхилень від стандартної кривої відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору.

В результаті проведеної роботи були поставлені і вирішені завдання розробки конкурентоспроможних засобів вимірювальної техніки як в області вимірювання енергетичних характеристик оптичного випромінювання, так і в області світлотехнічних вимірювань.У висновку слід підкреслити головний внесок статті в наукову літературу. Не повторюйте у висновку речення, викладені в основному тексті або анотації. Автори повинні пояснити, чому їх робота є важливою, у чому полягає її наукова або практична новизна, а також шляхи реалізації.

Перелік літературних джерел

[1] Кузьмин В., Антонов В., Круглов О. Приборы для измерения оптических параметров и характеристик светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – №3. – с. 26 – 31.

[2] Д. П. Зубков. Гониометрический метод измерения излучения светодиодов // Світлотехніка та електроенергетика. – 2011. – №4 (28). – с. 30 – 37.

[3] Зубков Д.П. Гоніофотометрична установка для вимірювання світлотехнічних характеристик потужних світлодіодів / Д.П. Зубков, Л.А. Назаренко // Метрологія та прилади. – Харків: Фавор, 2014. – №5 (49). – 48 –54.

[4] The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions : CIE 70-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 44 c.

[5] The measurement of luminous flux : CIE 84-1989. — [1st edition]. — s.l.: s.n., 1989. — 57c.

[6] Светильники. Общие технические условия : ГОСТ 17677 – 82. – [Действует с 01.01.83] – М: Издательство стандартов, 1982. – 59 с.

[7] Тимофеев Е.П. Разработка и исследование аппаратуры для светотехнических измерений // Світлотехніка та електроенергетика. – 2009. – №4 (20). – с. 76 – 80.

[8] Measurement of LEDs : CIE 127-2007. – [2nd edition]. – s.l.: s.n., 2007. – 38 c.

[9] Пат. 130004 Україна, МПК G01J 1/04. Фотометр / Литвиненко А.С., Ляшенко О.М., Тимофеєв Є.П. – U201804781 заявл. 02.05.2018; опубл. 26.11.18, Бюл. №22.

[10] Р.И. Столяревская. Методы исследования метрологических характеристик. Приборы для измерения световых величин // Светотехника. – 1998. – №6. – с.21 – 26.

[11] Вейнберг В. Б. Оптика световодов / В. Б. Вейнберг, Д. К. Саттаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение. – 1977. – 320 с.

[12] Кузьмичев В.М., Соловьев В.С., Зинченко Н.И., Тимофеев Е.П. Калориметрический измерительный преобразователь // Патент України N 21494 від 7.05.98.

[13] Тимофеев Е.П Калориметричний вимірювальній перетворювач. // Патент України N 85419 від 26.01.2009.

References

[14] . Kuz′myn V., Antonov V., Kruhlov O. Prybory dlya yzmerenyya optycheskykh parametrov y kharakterystyk svetodyodov // Poluprovodnykovaya svetotekhnyka. – 2010. – №3. – s. 26 – 31.

[15] D. P. Zubkov. Honyometrycheskyy metod yzmerenyya yzluchenyya svetodyodov // Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka. – 2011. – №4 (28). – s. 30 – 37.

[16] Zubkov D.P. Honiofotometrychna ustanovka dlya vymiryuvannya svitlotekhnichnykh kharakterystyk potuzhnykh svitlodiodiv / D.P. Zubkov, L.A. Nazarenko // Metrolohiya ta prylady. – Kharkiv: Favor, 2014. – №5 (49). – 48 –54.

[17] The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions : CIE 70-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 44 s.

[18] The measurement of luminous flux : CIE 84-1989. — [1st edition]. — s.l.: s.n., 1989. — 57s.

[19] Svetyl′nyky. Obshchye tekhnycheskye uslovyya : HOST 17677 – 82. – [Deystvuet s 01.01.83] – M: Yzdatel′stvo standartov, 1982. – 59 s.

[20] Tymofeev E.P. Razrabotka y yssledovanye apparatury dlya svetotekhnycheskykh yzmerenyy // Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka. – 2009. – №4 (20). – s. 76 – 80.

[21] Measurement of LEDs : CIE 127-2007. – [2nd edition]. – s.l.: s.n., 2007. – 38 s.

[22] Pat. 130004 Ukrayina, MPK G01J 1/04. Fotometr / Lytvynenko A.S., Lyashenko O.M., Tymofeyev YE.P. – U201804781 zayavl. 02.05.2018; opubl. 26.11.18, Byul. №22.

[23] R.Y. Stolyarevskaya. Metody yssledovanyya metrolohycheskykh kharakterystyk. Prybory dlya yzmerenyya svetovykh velychyn // Svetotekhnyka. – 1998. – №6. – s.21 – 26.

[24] Veynberh V. B. Optyka svetovodov / V. B. Veynberh, D. K. Sattarov. – 2-e yzd., pererab. y dop. – M. : Mashynostroenye. – 1977. – 320 s.

[25] Kuz′mychev V.M., Solov′ev V.S., Zynchenko N.Y., Tymofeev E.P. Kalorymetrycheskyy yzmeryteľnyy preobrazovatel′ // Patent Ukrayiny N 21494 vid 7.05.98.

[26] Tymofeev E.P Kalorymetrychnyy vymiryuval′niy peretvoryuvach. // Patent Ukrayiny N 85419 vid 26.01.2009.G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (стиль: *references*)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Е. Н. Ляшенко
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова
г. Харьков, Украина

Проведен анализ существующих средств измерительной техники для определения светотехнических характеристик источника излучения или светового прибора: светового потока, кривой силы света, коэффициента полезного действия. Разработано новое средство измерительной техники для реализации задачи автоматизации и совмещение измерения светотехнических характеристик светодиодных источников света и приборов на их основе.

***Ключевые слова**: средства измерения характеристик светодиодов, фотометр, автоматизация измерений характеристик, освещенность*

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE APPARATUS FOR AUTOMATION OF MEASUREMENTS OF LIGHT-TECHNICAL CHARACTERISTICS

O. N. Lyashenko
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine

An analysis of existing measuring equipment for determining the lighting characteristics of a radiation source or a light instrument: light flux, light intensity curve, and efficiency coefficient have been carried out. A new means of measuring equipment for the realization of the automation problem and the alignment of the measurement of the lighting characteristics of LED light sources and instruments on their basis have been developed.

***Keywords:** Measurement of characteristics of LEDs, photometer, automation of measurements of characteristics, illuminance*