

СПЕКТРАЛЬНІ ПОХИБКИ СЕРІЙНИХ ВІТЧИЗНЯНИХ ЛЮКСМЕТРІВ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ВИПРОМІНЮВАННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ

Ю.Г. Добровольський, доктор технічних наук, заступник директора НВФ "Тензор" з наукової роботи, м. Чернівці
Д.О. Калустова, аспірант, провідний інженер Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, м. Київ

О.Д. Купко, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник ННЦ "Інститут метрології", м. Харків
П.І. Неєжмаков, доктор технічних наук, доцент, генеральний директор ННЦ "Інститут метрології", м. Харків
А.В. Рибалочка, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ, м. Київ

Б.Г. Шабашкевич, кандидат технічних наук, директор НВФ "Тензор", м. Чернівці
В.Г. Юр'єв, начальник СКБ НВФ "Тензор", м. Чернівці



Ю.Г. Добровольський



Д.О. Калустова



О.Д. Купко



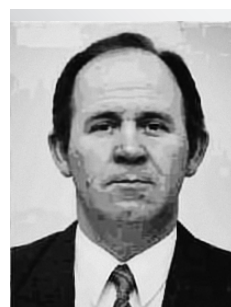
П.І. Неєжмаков



А.В. Рибалочка



Б.Г. Шабашкевич



В.Г. Юр'єв

Розглянуто похибки, обумовлені невідповідністю спектральної чутливості вітчизняних люксметрів і людського ока під час вимірювання випромінювання світлодіодів. Для вітчизняних приладів та для найбільш поширених світлодіодів проаналізовано можливість вимірювань без додаткової корекції. Показано, що світлодіоди, які використовуються для освітлення, не потребують корекції результатів.

Ключові слова: люксметр, фотометр, світлодіод, спектральна характеристика, спектральна чутливість.

The errors due to the discrepancy of spectral sensitivity of the national luxmeters and the human eye during the measurement of radiation of light emitting diodes are considered. For domestic devices and for the most common light-emitting diodes, the possibility of measurements without additional correction is analyzed. It is shown that light emitting diodes used for lighting do not require correction of results.

Keywords: luxmeter, photometer, light emitting diode (LED), spectral characteristic, spectral sensitivity.

Наразі для проведення світлових вимірювань найчастіше використовуються фотометри-люксметри та яскравоміри, чутливість яких приведено до чутливості людського ока [1]. Табульована в цьому документі крива $V(\lambda)$ відображає загальноприйняту середню спектральну чутливість людського ока. Очевидно, що ідеальної відповідності спектральної чутливості приладу і кривої $V(\lambda)$ досягти неможливо. Існує декілька критеріїв відповідності, які затверджено у відповідних документах. Як приклад, на міжнародному рівні можна надати Публікацію №69 МКО [2] та ДСТУ/ISO 19476 [3], для країн колишнього Радянського Союзу використовували ОСТ [4], зараз в Україні аналогічний – СОУ [5]. Слід зауважити, що Публікація №69 МКО та ДСТУ/ISO 19476:2014 як критерії використовують величини, які не є безпосередньо похибками вимірювань, критерії за ОСТ–СОУ більш тісно пов'язані з похибками вимірювань, тому частіше використовуються покупцями.

Невідповідність спектральної чутливості приладу і кривої $V(\lambda)$ призводить до помилок у тому випадку, коли спектральний склад вимірюваного випромінювання не збігається зі спектральним складом випромінювання при градуванні приладу. До того як набули широкого поширення люмінесцентні лампи і освітлення в основному здійснювалося лампами розжарювання, такі помилки були цілком прийнятні для практичних потреб. Для градування використовувалися лампи розжарювання, спектр яких (джерело типу А) добре визначався колірною температурою і регламентувався в ДСТУ ГОСТ 7721:2009 [6]. Після широкого розповсюдження джерел світла зі спектром випромінювання, істотно відмінним від спектра лампи розжарювання, помилки почали досягати десятків відсотків і були неприйнятними [7]. За останні десятиліття, завдяки вдосконаленню технологій, удалося досягти значно повнішої відповідності спектральних характеристик приладів і $V(\lambda)$, але одночасно з'явилося безліч світлодіодних джерел зі специфічними спектрами, що раніше не зустрічалися. Якщо вимірюється яка-небудь світлова характеристика, наприклад, освітленість, відомими є спектральна характеристика приймача та спектр випромінювання, то користувач самостійно може розрахувати, як саме буде спотворена чутливість приймача. Але вимагати такої роботи від звичайного користувача неможливо внаслідок значних вимог до кваліфікації, значних затрат праці, та найголовніше — внаслідок того, що спектр випромінювання майже завжди заздалегідь невідомий. Таким чином, актуальність питання попередньої оцінки похибки вимірювань залишилася. У цій роботі досліджено типові похибки, які виникають при роботі зі стандартними вітчизняними приладами внаслідок невідповідності спектрів при градуванні і вимірюванні для випромінювання найбільш поширених світлодіодних джерел світла.

Дослідження проводилося методами математичного моделювання на основі експерименталь-

них даних про чутливість фотометрів і про спектр випромінювання світлодіодів. Оскільки мета роботи полягає у визначенні типових помилок, то розрахунки проводилися для даних із кроком 10 нм, що цілком достатньо для оцінок. Критерієм служила величина Δ_i , яку визначено в Публікації №69 МКО:

$$\Delta_i = \left(\frac{\int_{380}^{760} B(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{760} B(\lambda)S(\lambda)d\lambda} - \frac{\int_{380}^{760} B_i(\lambda)S(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{760} B_i(\lambda)V(\lambda)d\lambda} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $B(\lambda)$ – спектр випромінювання джерела типу А; $B_i(\lambda)$ – спектр випромінювання світлодіодів; $S(\lambda)$ – спектральна чутливість фотометрів.

Ця величина показує, наскільки помиляється відкалібрований за джерелом типу А прилад при вимірюванні випромінювання зі спектрами $B_i(\lambda)$. Межі інтегрування вибрано у припущенні, що спектр випромінювання світлодіодів повністю знаходиться у видимому діапазоні.

Використовувалися дані про спектри випромінювання 13 світлодіодних джерел світла та 10 фотометрів, тобто розраховувалися 130 величин, які характеризують похибки, які обумовлені спектральними характеристиками. Спектри випромінювання світлодіодних джерел світла вимірювалися у науково-дослідній лабораторії “Центр випробувань та діагностики напівпровідникових джерел світла та освітлювальних систем на їх основі” (НДЛ ЦДНДС) Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України. Для цього використовувався спеціалізований вимірювальний комплекс на основі обладнання виробництва компанії “EVERFINE Corporation” (Китай), до складу якого входять високоточний матричний спектрорадіометр “HAAS-2000” з можливістю вимірювання спектральних характеристик джерел світла у видимому діапазоні довжин хвиль (380...780 нм), інтегруюча фотометрична сфера діаметром 1,0 м, а також набір джерел живлення постійного та змінного струмів із вимірювачем потужності, який дозволяє визначати якість використаних у джерелах світла перетворювачів/драйверів зі змінного струму системи живлення на постійний струм живлення безпосередньо світлодіодів. Засоби вимірювальної техніки, що використовуються в лабораторії, було прокалібровано в ННЦ “Інститут метрології”, тобто було забезпечено простежуваність до національних еталонів.

У ході своєї роботи з 2010 р. НДЛ ЦДНДС дослідила більше 500 різноманітних світлодіодних джерел білого світла українських та зарубіжних виробників, які умовно за призначенням можна розділити на такі чотири групи, як цокольні лампи, лампи формфактора Т8, світлотехнічні пристрої для внутрішнього освітлення (офісів, об'єктів житлово-комунального господарства, великих складських приміщень тощо), а також світлотехнічні пристрої

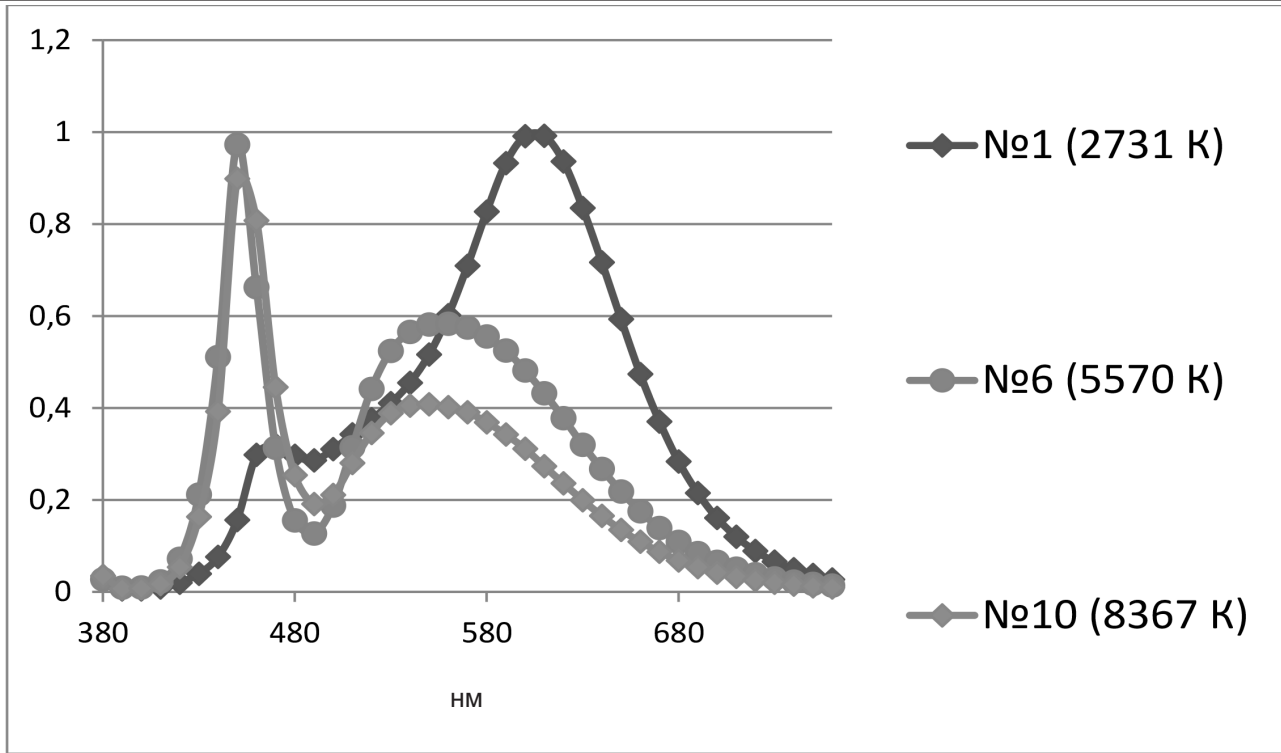


Рис. 1. Нормовані спектри випромінювання світлодіодів із трьома різними T_c : № 1 – 2731 K; № 6 – 5570 K; № 10 – 8367 K

для зовнішнього освітлення (у першу чергу, це вуличні світильники, а також освітлювальні пристрої для парків, прибудинкових територій, складів, стадіонів тощо).

Для кожної групи джерел світла висуваються різні вимоги до цілого ряду значень світлових та електричних параметрів, обумовлені їх призначенням. Перелік таких вимог наведено в Постанові Кабінету Міністрів від 15.10.2012 р. № 992 [8].

Для світлодіодних пристроїв для зовнішнього освітлення, окрім вимог до світлової ефективності та електричних параметрів, важливе значення мають типи кривих сили світла, які повинні забезпечити правильний розподіл освітленості на дорогах для комфортного та безпечного руху транспорту, а також ефективне використання ресурсів та запобігання надмірному “паразитному” освітленню житлових приміщень через вікна у будинках, що розташовуються уздовж доріг. Для внутрішнього освітлення важливими є корельована колірна температура (T_c), яка характеризує відтінок білого світла та відповідає за комфортні умови праці. Доведено, що вранці та ввечері людині потрібні більш теплі тони білого світла (2700...3500 K), а вдень – натуральні та більш холодні тони білого світла (4000...6500 K), які сприяють бадьорості та підвищенню працездатності. Систематичне порушення цієї закономірності може призвести до проблем зі сном та різних захворювань. Це пов’язано із впливом світла з теплим/холодним відтінком білого на стимулювання/пригнічення вироблення в організмі людини гормону сну – метаноніну.

Виходячи із досвіду НДЛ ЦДНДС щодо проведення випробувань зразків світлодіодної світло-

технічної продукції, для цього дослідження було запропоновано 13 спектральних характеристик типових світлодіодних джерел світла, які найбільш повно охоплюють представлений на ринку спектр джерел світла з точки зору діапазону T_c : 2717; 2731; 3054; 3778; 4119; 4176; 4407; 5094; 5570; 6004; 6801; 7411; 8376 K. Саме такі світлодіоди використовують для освітлення. На рис. 1 наведено тільки три із цих спектрів із максимальною, мінімальною та середньою температурами, інші мають аналогічний вигляд, відносна величина синього максимуму збільшується з ростом корельованої колірної температури.

Крім світлодіодів, які рекомендовано використовувати для освітлення, існують світлодіоди, які використовують переважно для створення святкової та рекламної ілюмінації та іншої мети. Для їх дослідження було обрано зразки червоного, зеленого та синього світлодіодів із такими спектральними параметрами: червоний – пікове значення довжини хвилі 637,7 нм, напівширина 15,9 нм; зелений – пікове значення довжини хвилі 523,1 нм, напівширина 38,0 нм; синій – пікове значення довжини хвилі 452,0 нм, напівширина 20,4 нм. Також було виміряно спектральні характеристики окремих світлодіодних компонентів зразка RGBW-світлодіода виробництва компанії “CREE” серії MC-E: червоний – пікове значення довжини хвилі 630,4 нм, напівширина 16,4 нм; зелений – пікове значення довжини хвилі 520,2 нм, напівширина 37,9 нм; синій – пікове значення довжини хвилі 450,2 нм, напівширина 23,6 нм; білий – $T_c = 6080$ K. Також було виміряно спектри випромінювання при увімкненні комбінацій із трьох (червоний, зелений,

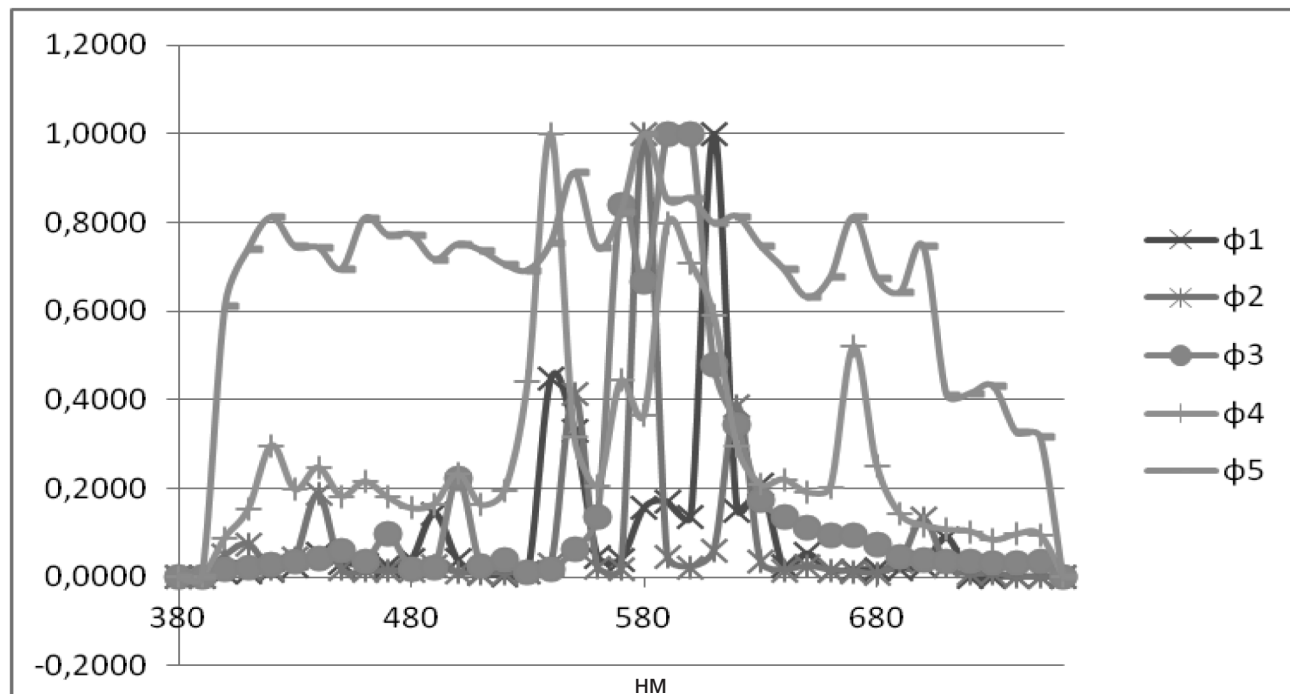


Рис. 2. Спектри 5 табульованих джерел світла за СОУ МПП 29.200–024:2004

синій) та чотирьох (червоний, зелений, синій, білий) світлодіодів одночасно. Усього 9 додаткових джерел.

У дослідженні використано дані про спектральні характеристики фотометричних головок фотометрів Екотензор-03 розробки та виробництва НВФ “Тензор” (м. Чернівці). Фотометри виготовлялися серійно, згідно з технічними умовами [9], для досліджень було обрано останню партію приладів. У процесі виробництва якість коригування визначається як відмінність чутливості фотометричних головок до дії інтегрального потоку п’яти джерел: трисмугової люмінесцентної лампи, ртутної та натрієвої ламп високого тиску і металогалогенної лампи із трьома рідкоземельними домішками, від чутливості до цих самих джерел стандартизованого приймача – ока. Спектри табульованих джерел світла (φ_i) наведено на рис. 2.

Відмінності спектральних характеристик можуть зростати на краях чутливості фотометричних головок, проте під час дії інтегрального потоку ця відмінність впливає менше на результат вимірювання, ніж відмінності, які знаходяться ближче до максимуму чутливості. Тому оцінка якості коригування за результатами дії інтегрального потоку достатня і похибки вимірювань світлових величин будуть незначними за умови, що в подальшому фотометричні головки будуть використовуватися також для вимірювань інтегральних потоків. Для коригування спектральних характеристик фотометричної головки (ФМГ) фотометра Екотензор-03 використовували кольорове скло. Попередній вибір світлофільтрів проводився за допомогою каталога кольорового скла [10], з урахуванням досвіду розробки люксметрів. Враховуючи, що НВФ “Тензор” є комерційним підприємством, існує зацікавленість у зменшенні собівартості приладів, зокрема, в міні-

мальному числі компонентів у фільтрі, який приводить чутливість фотометра до чутливості людського ока. Дослідження показали, що оптимальне співвідношення “ціна–якість” можна забезпечити, якщо застосувати чотири світлофільтри, а саме: світлофільтри СЗС-21, ЗС-8, СЗС-24, ЖЗС-18. Спектральні характеристики пропускання (τ) зазначених світлофільтрів наведено на рис. 3.

Видно, що вибір фільтра є нетривіальним завданням, яке має багато рішень, кожне з них може бути нестійким до малих похибок під час виготовлення та вимірювань. Спектральні характеристики пропускання світлофільтра визначаються сумісною дією цих чотирьох марок скла, товщина кожного підбирається окремо. Критерієм вибору товщини було обрано СОУ МПП 29.200–024:2004 внаслідок причин, що були зазначені раніше. Попередньо досліджувалися спектральні характеристики кожного зразка кольорового скла, спектральні характеристики фотодіодів, розраховувалися відповідні товщини, виготовлялися фільтри, а потім вимірювалась їх спектральна чутливість. Останнім кроком є комбінування кожного фільтра з фотодіодами та вибір найкращих пар “фотодіод – фільтр”. Спектральні характеристики фотометричних головок, які було використано для розрахунків, наведено на рис. 4. Якість вимірювань в НВФ “Тензор” забезпечувалася регулярними калібруваннями в ННЦ “Інститут метрології”, що забезпечило простежуваність до національних еталонів у галузі оптико-фізичних вимірювань.

Слід зазначити, що така процедура розрахунку та виготовлення фільтрів використовується для всіх світловимірювальних приладів. Тому можна вважати, що спектральні похибки цієї партії адекватно відображають похибки для вітчизняних приладів. Візу-

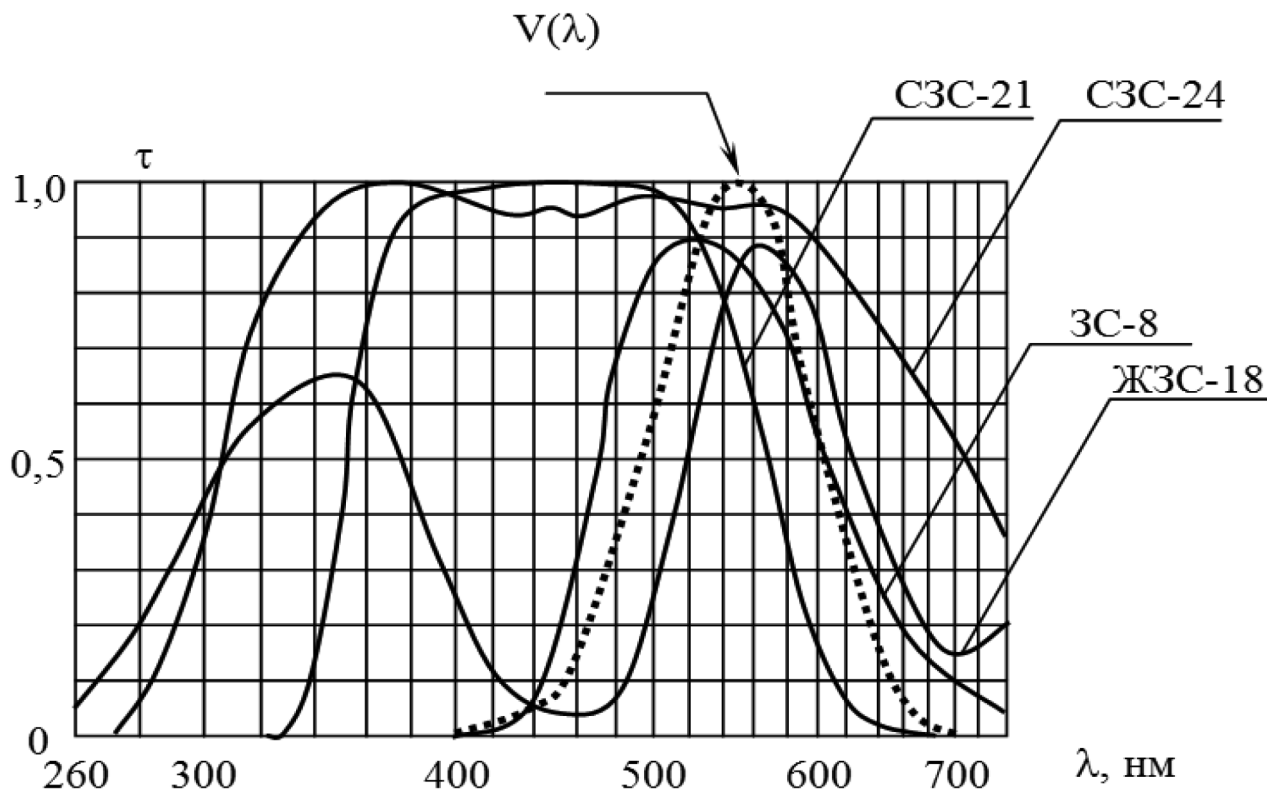


Рис. 3. Спектральні характеристики пропускання світлофільтрів ЖЗС-18, СЗС-21, СЗС-24, ЗС-8 та крива видимості ока людини $V(\lambda)$

ально графіки спектральної чутливості фотоголовок майже не відрізняються, тому було розраховано їх чисельні характеристики як за СОУ МПП 29.200–024:2004, так і за Публікацією №69 МКО [2]. Для СОУ розраховувалася величина Δ_i за формулою (2), яка подібна до формули (1), але $B_i(\lambda)$ — спектри 5 табульованих джерел світла:

$$\Delta_i = \left(\frac{\int_{380}^{760} B(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int_{380}^{760} B_i(\lambda)V(\lambda)d\lambda} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $B(\lambda)$ — спектр випромінювання джерела типу А; $B_i(\lambda)$ — спектри 5 табульованих джерел світла; $S(\lambda)$ — спектральна чутливість фотометрів.

У табл. 1 наведено результати оцінки ступеня корекції спектральної характеристики чутливості 10-ти фотометричних головок серійних фотометрів Екотензор-03 до кривої видимості ока. Оцінку здійснено за п'яти джерелами (колонки 2, 3, 4, 5, 6 табл. 1).

Як видно з табл. 1, ступінь корекції спектральної характеристики чутливості ФМГ фотометра Екотензор-03 до кривої видимості ока відповідає першому класу згідно з [5].

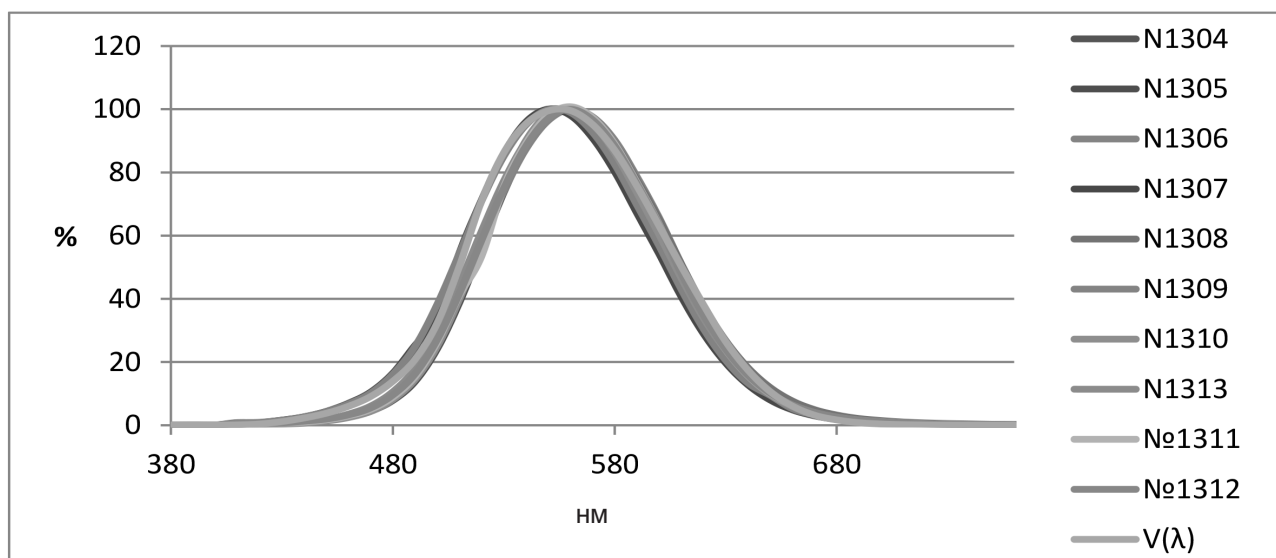


Рис. 4. Спектральні характеристики фотометричних головок із чотирьох світлофільтрів

Таблиця 1

Результати оцінки ступеня корекції спектральної характеристики чутливості ФМГ 10-ти серійних фотометрів Екотензор-03 до кривої видності ока

№ ФМГ	$\Delta 1, \%$	$\Delta 2, \%$	$\Delta 3, \%$	$\Delta 4, \%$	$\Delta 5, \%$	Max, %
1	2	3	4	5	6	7
1304	0,8	-1,9	-4,7	-0,5	1,3	4,7
1305	1,2	5,5	5,2	0,0	-2,0	5,5
1306	0,1	4,8	6,3	-0,2	-1,9	6,3
1307	1,0	-1,8	-5,0	-0,5	1,4	5,0
1308	0,4	4,1	5,2	-0,1	-1,7	5,2
1309	0,3	-1,4	-3,5	-0,6	1,3	3,5
1310	1,9	4,6	3,6	0,1	-1,9	4,6
1311	1,2	5,1	5,4	0,1	-1,9	5,4
1312	0,5	4,3	4,8	-0,2	-1,5	4,8
1313	0,3	3,1	3,6	-0,3	-1,2	3,6

У результаті розрахунків за формулою (1) отримано похибки, які виникли внаслідок невідповідності спектральної характеристики чутливості фотометрів та відмінності спектра світлодіодів від спектра джерела типу А. Помилки розраховано для світлодіодних джерел білого світла, які мають дві спектральні складові – синю та жовто-зелену. Такий тип є найбільш поширеним. Результати наведено в табл. 2, де в першій колонці вказано номери світлодіодних джерел та їх T_c , у решті колонок – значення для 10-ти серійних фотометричних головок.

З табл. 2 видно, що максимальне відхилення, а також розбіжності між максимальним та міні-

мальним відхиленнями практично збігається з межею похибок для 1 класу. Для зручності отримані результати можна надати у вигляді гістограми (рис. 5), де по горизонталі зазначено інтервали похибок, а по вертикалі – кількість цих похибок у кожному інтервалі. Інтервали – через один відсоток.

Результати розрахунків для групи найбільш поширених світлодіодів, які не використовуються для освітлення, наведено на рис. 6. Інтервали похибок було обрано від -7 до 7% через 2%, ті результати, що виходять за ці інтервали, зазначено як 100% відхилення (12 результатів з 90).

Таблиця 2

Похибки корекції спектральної характеристики чутливості фотометричних головок фотометрів за різними світлодіодними джерелами білого світла у відношенні до джерела типу А

	№ 1304	№ 1305	№ 1306	№ 1307	№ 1308	№ 1309	№ 1310	№ 1311	№ 1312	№ 1313
1	-1,03	0,25	-0,05	-0,87	-0,96	1,95	-0,11	-0,04	-0,29	-0,45
2	-0,50	1,13	0,14	-0,25	-0,92	2,70	0,68	0,53	0,17	-0,14
3	1,13	-0,77	-1,74	1,40	-2,68	3,36	-0,97	-1,29	-1,37	-1,24
4	1,26	0,01	-1,47	1,60	-2,46	3,79	-0,24	-0,74	-0,93	-0,96
5	2,01	-1,70	-2,68	2,35	-3,65	3,98	-1,84	-2,18	-2,13	-1,80
6	2,09	-0,77	-2,39	2,50	-3,36	4,45	-0,93	-1,54	-1,62	-1,51
7	2,51	-2,06	-3,19	2,88	-4,13	4,38	-2,16	-2,58	-2,47	-2,08
8	2,94	-2,54	-3,66	3,35	-4,55	4,51	-2,58	-3,02	-2,85	-2,36
9	2,77	-2,12	-3,39	3,07	-4,27	4,42	-2,26	-2,71	-2,54	-2,19
10	3,14	-2,37	-3,81	3,64	-4,74	5,03	-2,45	-2,99	-2,85	-2,45
11	-1,10	-0,16	-0,29	-0,95	-0,72	0,60	-0,23	-0,30	-0,48	-0,63
12	0,53	-3,43	-2,95	0,71	-2,83	-0,23	-3,01	-3,17	-2,85	-2,38
13	1,01	-1,52	-2,13	1,21	-2,65	1,84	-1,49	-1,82	-1,77	-1,57
Мін	-1,10	-3,43	-3,81	-0,95	-4,74	-0,23	-3,01	-3,17	-2,85	-2,45
Макс	3,14	1,13	0,14	3,64	-0,72	5,03	0,68	0,53	0,17	-0,14
Макс-мін	4,24	4,56	3,95	4,59	4,03	5,26	3,69	3,70	3,02	2,31

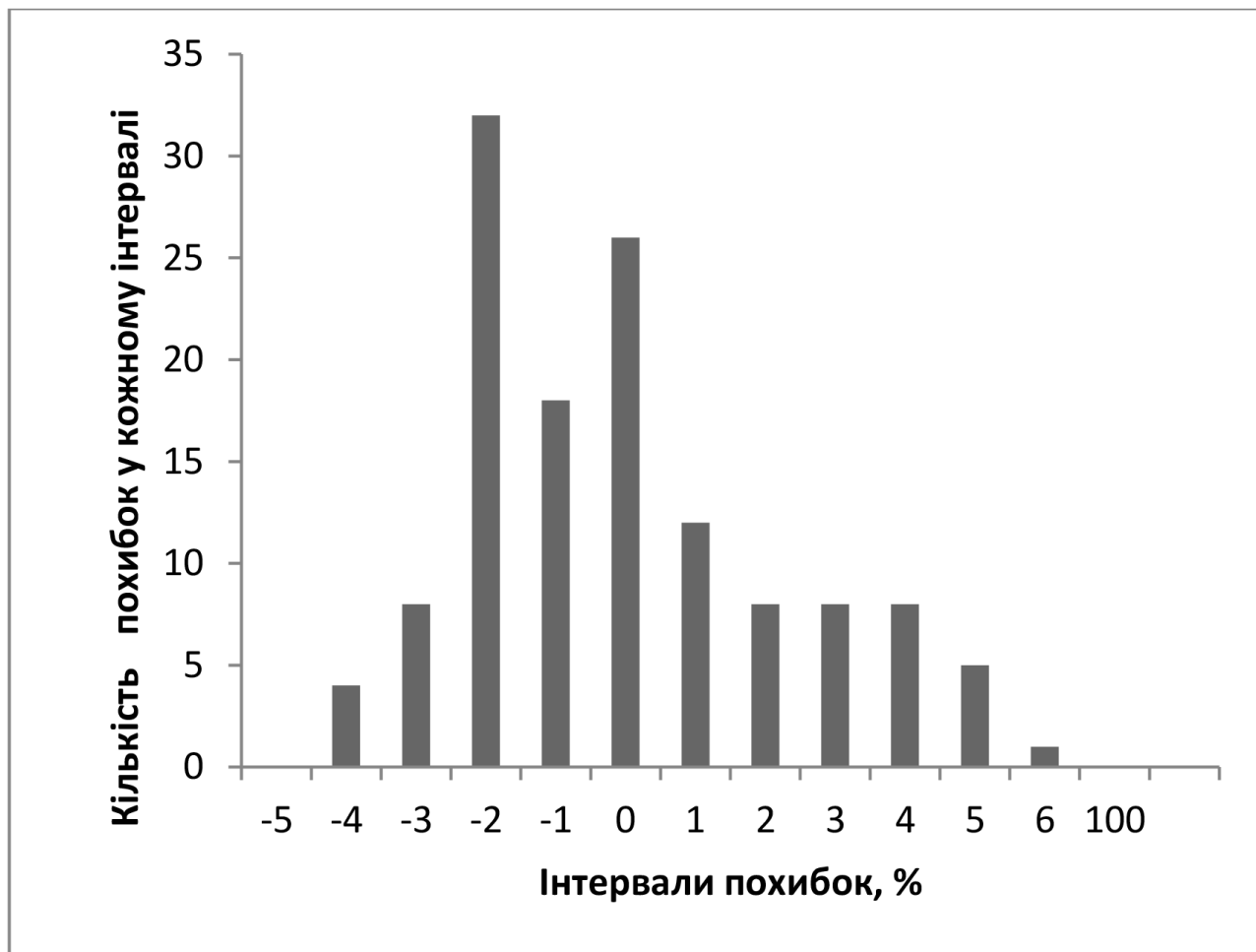


Рис. 5. Гістограма результатів розрахунків із табл. 2

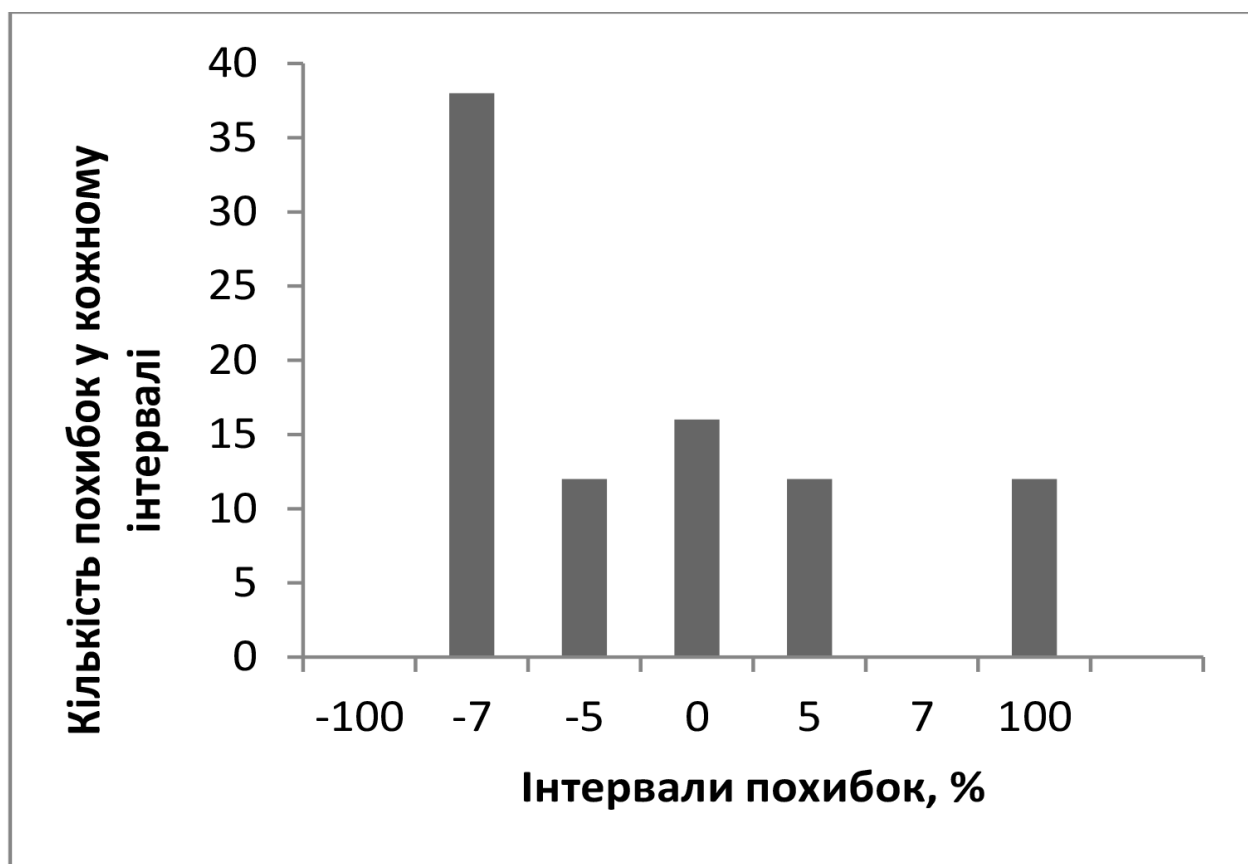


Рис. 6. Результати розрахунків для групи найбільш поширених світлодіодів, які не використовуються для освітлення

Висновки

Результати розрахунків показують, що похибки, які виникли внаслідок невідповідності спектральної характеристики чутливості фотометрів для світлодіодів, що використовуються для освітлення, цілком укладаються в заявлені похибки приладів. Досягнутий рівень якості вимірювальних приладів дозволяє не піклуватися про можливу відмінність спектрів при калібруванні і вимірюванні. Досягнутий на сьогоднішній день в Україні рівень якості фотометрів робить їх цілком придатними для вимірювання характеристик освітленості, які створюють світлодіодні джерела білого світла в широкому діапазоні значень корельованих колірних температур (перевірено діапазон 2700...8400 К).

Необхідно зауважити, що цей висновок стосується білих люмінофорних світлодіодів. Зрозуміло, що для вимірювання монохроматичного випромінювання для світлодіодів з однією спектральною складовою, або для їх комбінації, прилади такого класу не призначені, оскільки для цього існують відповідні спектрорадіометри [11]. Проте, за необхідності фотометри можуть бути доопрацьовані для зменшення похибки до прийнятних значень і забезпечення вимірювання параметрів монохроматичних світлодіодів. Зрозуміло, що це підвищить їхню вартість.

Враховуючи, що наразі значна частина користувачів світловимірювальних приладів звикла мати справу з похибками, або невизначеностями, слід широко обговорити доопрацювання дійсного на цей час СОУ та доповнення його додатковими стандартними джерелами світла. Наприклад, можна запропонувати додати ще кілька груп стандартних джерел. Перша група — білі люмінофорні світлодіоди з корельованими колірними температурами 2856; 2360; 8300 К. Друга група — світлодіодні джерела білого світла, отримані на основі змішування трьох/чотирьох кольорів (червоного, зеленого, синього, білого) від RGB-світлодіодів з такими самими корельованими колірними температурами. Остання група (найбільш суворі вимоги) може складатися з умовно монохроматичних світлодіодів із різною домінуючою довжиною хвилі та різною напівшириною спектра. Зрозуміло, що вимоги щодо якості коригування спектральної чутливості приймачів у цих групах істотно зростають, відповідно до цього потрібно змінити класифікацію, наприклад, для таких самих вимог до похибок додатково вказувати групу стандартних джерел. Таке доповнення допо-

може користувачам визначитися з актуальним питанням, а саме: які похибки можливі під час роботи з конкретним фотометром.

Список літератури

1. ДСТУ ГОСТ 8.332:2008 ГСИ. Світлові вимірювання. Значення відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання для денного зору.
2. International Commission on Illumination. Publication № 69, 1987. Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters (Міжнародна комісія з освітлення. Публікація № 69, 1987. Методи характеризування засобів вимірювання освітленості та засобів вимірювання яскравості).
3. ДСТУ/ISO 19476:2014. Вимоги до характеристик приладів для вимірювання освітленості та яскравості.
4. ОСТ 16.0.800926–82. Преобразователи излучения для световых измерений. Методы определения параметров, характеризующих качество воспроизведения относительной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.
5. СОУ МПП 29.200–024:2004. Перетворювачі випромінювання вимірювальні для світлових вимірювань. Характеристика відносної спектральної чутливості. Вимоги та класифікація.
6. ДСТУ ГОСТ 7721:2009. Джерела світла для вимірювань кольору. Типи. Технічні вимоги. Маркіровка. С. 19.
7. Игнатъев В. Г., Боос Г. В. Что будем делать с люксометрами Ф116, Ф 117 // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение: Материалы 11 науч.-техн. конф. Москва: ВНИИОФИ, 1992. С. 27.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 15.10.2012 р. № 992 “Про затвердження вимог до світлодіодних світлотехнічних пристроїв та електричних ламп, що використовуються в мережах змінного струму з метою освітлення”.
9. Технічні умови. Фотометри Екотензор: У 26.5–14256766–016:2013. Чернівці: НВФ “Тензор”, 2013. 56 с.
10. Каталог цветного стекла. Москва: Машиностроение, 1967. 62 с.
11. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. Изд. 3-е, перераб. и доп. Москва: Знак, 2006. 972 с.