



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ**

(СІЕ 127:2007, MOD)

ДСТУ СІЕ 127:201Х
(проект, перша редакція)

Видання офіційне

**КИЇВ
ДЕРЖСПОЖИСТАНДАРТ УКРАЇНИ
201Х**

ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки та торгівлі»; ТК 137 «Лампи та відповідне обладнання»

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: Ю.Басова, Л.Дугніст, Л.Губа, Г.Кожушко (науковий керівник), В.Ткаченко, І.Шурдук

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від _____ № _____ з _____

3 Національний стандарт відповідає технічному звіту СІЕ 127:2007 Measurement of LEDs (Вимірювання параметрів світло випромінюючих діодів)

Ступінь відповідності – модифікований (MOD) переклад з англійської «en»

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

Право власності на цей документ належить державі.

Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати цей документ повністю чи частково на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено

Держспоживстандарт України, 201Х

ЗМІСТ

ВСТУП ДО ЗВІТУ СІЕ 127:2007.....	VI
НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП.....	VII
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	1
1.1 Сфера застосування.....	1
1.2 Термінологія.....	2
1.3 Мета стандарту.....	3
1.4 Види вимірювань параметрів СВД.....	4
1.4.1 Лабораторні вимірювання.....	4
1.4.2 Масовий контроль.....	4
2 ВЛАСТИВОСТІ СВД.....	5
2.1 Оптичні властивості СВД.....	5
2.1.1 Просторовий розподіл.....	6
2.1.2 Спектральний розподіл.....	7
2.1.3 Зона випромінювання.....	8
2.2 Електричні параметри.....	9
2.2.1 Електричні умови функціонування.....	9
2.2.2 Функціонування еталонних зразків.....	10
2.2.3 Режими функціонування з часовими залежностями.....	11
2.2.4 Пряме падіння напруги.....	13
2.2.5 Температура середовища.....	15
2.3 Впливання температури на випромінювання.....	15
2.3.1 Зміщення максимуму в спектрі випромінювання зі змінням температури.....	15
2.3.2 Впливання температури на ККД та світлову віддачу... ..	16
2.4 Технологічні відхилення.....	16
3 ВЛАСТИВОСТІ ФОТОМЕТРІВ/РАДІОМЕТРІВ.....	17
3.1 Фотоприймачі.....	18

3.2	Кутова та просторова сприйманності фотометра/радіометра.....	18
3.3	Спектральна чутливість фотометра/радіометра.....	19
3.3.1	Фотометр для вимірювань параметрів білих СВД.....	20
3.3.2	Фотометр для вимірювань параметрів кольорових СВД.....	21
4	ВЕЛИЧИНИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬСЯ ПРОСТОРОВИМИ СПІВВІДНОШЕННЯМИ.....	22
4.1	Абсолютизуючий коефіцієнт і розподіл відносної сили світла.....	22
4.2	Вимірювання величин за напрямками.....	25
4.2.1	Сила світла.....	25
4.2.2	Освітленість.....	25
4.2.3	Місце розташування випромінюючої поверхні.....	26
4.2.4	Вимірювання за умов «близького» та «далекого» полів.....	26
4.3	Середня сила світла СВД.....	27
4.4	Вимірювання просторових і напрямних параметрів.....	29
5	ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНІХ СИЛ СВІТЛА СВД.....	30
5.1	Метод порівняння.....	30
5.1.1	Порівняння з кількома еталонами.....	31
5.2	Коригування в разі різниці в спектрах.....	31
5.3	Використання спектрорадіометра.....	32
5.4	Метод зразкового приймача.....	32
6	ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПОТОКІВ.....	34
6.1	Вимірювані величини.....	34
6.1.1	Повний світловий потік.....	34
6.1.2	Частковий потік СВД.....	34
6.2	Методи вимірювань світлових потоків.....	37
6.2.1	Гоніофотометричний метод.....	37

6.2.2	Метод з інтегруючою кулею.....	41
6.2.3	Способи градування кулі та подальші корегування...	46
7	СПЕКТРАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ.....	49
7.1	Поняття спектрального розподілу.....	49
7.1.1	Спектральна густина.....	49
7.1.2	Абсолютизуючий коефіцієнт і густина спектрального розподілу.....	50
7.2	Параметри спектральних розподілів.....	51
7.2.1	Довжина хвилі, що відповідає максимуму.....	51
7.2.2	Ширина спектральної смуги між половинними рівнями інтенсивності.....	51
7.2.3	Середня довжина хвилі між половинними рівнями.....	52
7.2.4	Центровагова довжина хвилі.....	52
7.3	Колірні параметри, значення яких знаходяться зі спектральних розподілів.....	53
7.3.1	Домінуюча довжина хвилі.....	54
7.3.2	Чистота (кольору).....	54
7.4	Спектральні вимірювання параметрів СВД.....	55
7.4.1	Вимірювання середньої сили світла СВД.....	56
7.4.2	Режим вимірювання повного потоку.....	59
7.4.3	Режим вимірювання часткового потоку.....	60
7.4.4	Узгодження між смугами пропускання та інтервалами вимірювань.....	62
7.4.5	Інші складові невизначеностей.....	64
	Бібліографія.....	66
	Додаток НА1 Порядок побудови поясових та чотиригранних тілесних кутів та їхні значення.....	69
	Додаток НА2 Терміни та визначення понять.....	73

ВСТУП ДО ЗВІТУ СІЕ 127:2007

Цей технічний звіт є результатом перегляду звіту СІЕ 127-1997 «Вимірювання параметрів СВД», скасування якого було здійснено перед тим, як стали загально доступними потужні СВД. З тих пір, як було опубліковано попередній звіт СІЕ 127, стався великий прогрес в розвитку СВД, особливо великих потужностей, з широким діапазоном кольорів, в тому числі – з білим; відбулося багато змін в загальних методиках вимірювань параметрів СВД, також було набуто деякі нові наукові знання. Цей перегляд відображає такі зміни та надає рекомендації щодо більш відтворюваних та досконалих вимірювань параметрів СВД.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт базується на прийнятому зі змінами тексті (в en версії) технічного звіту СІЕ 127:2007 Measurement of LEDs (Вимірювання параметрів СВД).

Зміни, внесені до стандарту, пов'язані з тим, що:

– культура науково-технічної мови в en версіях документів міжнародних організацій суттєво відрізняється від вітчизняної культури такої мови, наприклад, в назві звіту СІЕ слово *measurement* – в однині, а LEDs – у множині, тобто перше слово означає дещо загальніше, ніж *вимірювання*, наприклад, *метрологія*, в той час, як вимірювати можна лише величини (параметри);

– деякі положення пропонувані методик вимірювань є некоректними, а деякі – навіть хибними.

Технічним комітетом відповідальним за цей стандарт є ТК 137 «Лампи та відповідне обладнання».

До тексту стандарту внесено такі редакційні зміни :

– слова «цей звіт» замінено на «цей стандарт»;

– англійську назву стандарту замінено на «Measurements of parametrs of light imiting diods»;

– преамбулу розділу 1 звіту подано окремо як «Вступ до звіту СІЕ 127:2007», а його підрозділи об'єднано в розділі 1 «Загальні відомості»;

– з підрозділу 1.3 вилучено останній абзац, який не має корисного технічного змісту;

– в підрозділі 2.1 і далі терміни: радіометричні, спектрорадіометричні, фотометричні та кольорометричні величини (radiometric, spectro radiometric, fotometric, and colorometric quantities) замінено на застосовувані у вітчизняній світлотехнічній практиці

терміни (відповідно): енергетичні, спектральні, світлові та колірні величини;

– в підрозділі 2.1 і далі вжито правильну назву функції $V(x)$ – функція спектральної видності, а не хибну – згідно з ГОСТ 8.322–78 [1];

– умовні позначення посилальних джерел інформації в тексті і в додатку «Бібліографія» замінено порядковим їх номерами в переліку цього додатку;

– оскільки не напруга є функцією струму, а навпаки, в пункті 2.2.1 і далі, замість словосполучення «пряма напруга» (forward voltage) застосовується термін «пряме падіння напруги U_{Γ} »

– в розділі 3.3 і далі для запобігання плутанини з позначенням функції $s(\lambda)$ функцію $S(\lambda)$ позначено символом $\varphi(\lambda)$

– в розділі 3.3 і далі назви функцій $X(\lambda)$ – спектральний розподіл (spectral distribution), і відносний спектральний розподіл (relative spectral distribution) виправлено відповідно на : функція абсолютної ($X(\lambda)$) та відносної ($\varphi(\lambda)$) густини спектрального розподілу;

– у відповідних розділах в формулах 11–13; 24; 40; 43 та 45 інтегрування по довжинах хвиль (якого, в принципі, не може бути в методиках вимірювань, оскільки вимірювачі оперують не функціями, а числовими значеннями величин) замінено на підсумовування по інтервалах довжин хвиль; у відповідності до цього в записах формул символи функцій замінено символами значень, наприклад, $\varphi(\lambda)$ на φ_i , з вилучення (λ) як символу залежності від λ ;

– в п.6.2.1. скориговано та уточнено опис методу вимірювань повного світлового потоку за допомогою гоніофотометра, в зв'язку з чим до стандарту долучено Додаток НА1 з описом порядку побудови використовуваних тілесних кутів і з інформацією щодо їхніх значень;

– в підрозділі 4.1 і далі словосполучення «механічна вісь» (mechanical axis) замінено коректнішим щодо СВД «геометрична вісь»

– в першому абзаці підпункту 6.2.2.1 в опис кульового фотометра вставлено фразу про багаторазовість відбивань світлового потоку для кращого розуміння процесу, що відбувається; крім того в цьому абзаці тезис про *складність коригування* (difficult to correct) похибок у випадках, коли просторові розподіли сил світла випробуваного та еталонного СВД не є подібними, замінено тезисом про *неможливість* такого користування, оскільки це відповідає істині і є принциповим;

– в третьому абзаці підпункту 6:2.2.1 і далі словосполучення «чутливість до самопоглинання» (sensitivity to self-absorption) замінено на «похибка, пов'язана з різницею в розмірах випробуваного та еталонного СВД», оскільки:

- по-перше, «самопоглинання» є терміном теорії електричного розгляду і означає поглинання стовпом розряду випромінень власних резонансних спектральних ліній в разі повертання цих випромінень в бік розряду завдяки відбиванням від оточуючих поверхонь;
- по-друге, через зазвичай більші значення коефіцієнта ρ відбивання в порівнянні з коефіцієнтом $\alpha=1-\rho$ поглинання внесок відбивань від поверхні джерела в спотворення багаторазових відбивань світла від поверхні кулі є суттєвішим, ніж внесок поглинань складниками джерела;

– четвертий абзац підпункту 6.2.2.1 з вимогою щодо оснащення фотометричних куль допоміжними СВД, призначених нібито для коригування похибок, пов'язаних з різницями в геометричних розмірах випробуваного та еталонного СВД, замінено абзацом з тезисом про неможливість такого коригування, оскільки ніяке допоміжне джерело, розташоване на стінці кулі та ще й за екраном, не може відтворити картини відбивань потоків випробуваного та еталонного джерел (розташованих в інших місцях кулі) від власних поверхонь цих джерел;

– на підставі вище зазначеного з дальших складників стандарту (6.2.2.2; 6.2.3; 7.4.3.1 вилучено абзаци або фрагменти тексту, де йдеться про коригування пов'язані з різницями в розмірах еталонних та випробуваних джерел (або «з вимірюваннями самопоглинання») (self-absorption measurement), як називається це в звіті СІЕ; крім того, з рис. 9; 10; 14 та 15 вилучено зображення символів допоміжних СВД/ламп, як непотрібних пристроїв; останнє особливо стосується конструкцій куль на рис. 10 та 15, де еталонні та випробувані джерела перебувають взагалі поза межами куль;

– в підпункті 6.2.3.2 в формулі (33) вираз

$$T_{\text{вд}} = k \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)} T_{\text{ВД}} = k^* \cdot \frac{\rho(\lambda)}{1-\rho(\lambda)}$$

функції відносної спектральної пропусканості кулі, який суперечить її визначенням в методиках вимірювань, описаним в цьому підпункті, а також закону збереження променевого потоку (і закону збереження енергії), замінено правильним виразом $T_{\text{вд}}(\lambda) = \rho(\lambda)$, де $\rho(\lambda)$ – функція відносного спектрального коефіцієнта відбивання поверхні кулі;

– з примітки до пункту 7.1.1 вилучено вимогу щодо охоплення шириною щілини спектро радіометра усієї смуги між половинами максимуму (УСПМ), а також зауваження в пункті 7.4.4 щодо УСПМ і трикутної форми чутливості щілини, як такі що стосуються лише вимірювань інтенсивностей окремих спектральних ліній, яких немає в спектрах випромінень СВД;

– з підпункту 7.4.4.1 вилучено вказівку щодо застосування методу Стірнса – Стірнса (S – S-метод) [2], оскільки для його застосування потрібно, щоб смуга пропускання являла собою трикутникові функцію, в той час як в тому ж підпункті зазначається, що ця функція не є такою;

– до стандарту долучено додаток НА2 «Терміни та їх визначення», в якому (алфавітним порядком) надаються визначення

тих термінів, що застосовуються в тексті цього стандарту, але не визначаються в ньому; такі терміни при перших вживаннях в тексті виділено темним шрифтом.

Копії національних і міжнародних стандартів можна замовити в Головному фонді нормативних документів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧИХ ДІОДІВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

MEASUREMENTS OF PARAMETERS
OF LIGHT IMITING DIODES

Чинний від 201X XX XX

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Сфера застосування

Напівпровідникові пристрої, які утворюють оптичне випромінювання, можна поділити на окремі групи: люмінесцентні діоди, зазвичай відомі як світловипромінюючі діоди або СВД та лазерні діоди. Цей стандарт стосується лише діодів першої групи – СВД, і не охоплює **кластери** або масиви СВД, СВД використовувані як приладдя та пристрої з малими площами зон випромінювання, такі як органічні СВД (ОСВД). Цей стандарт охоплює вимірювання світлових, енергетичних та колірних параметрів СВД, які проводяться в градуовальних лабораторіях. Він не охоплює вимірювальних процедур у виробничих процесах, які розглядаються по-іншому. Існує відповідальність виробника, тому користувач, який одержав від такої лабораторії робочі еталони достатньої якості, має бути впевненим, що встановлені для контролю виробництва випробування будуть належно

визначати значення кількісних характеристик. Рекомендації стосовно вимірювань у виробничих процесах будуть об'єктом іншого стандарту. Відхилення від умов лабораторних вимірювань і можливі причини похибок мають бути ретельно враховані під час розробок та впроваджень випробного обладнання.

1.2 Термінологія

За великим рахунком термін «СВД» має застосовуватися лише до діодів, які утворюють видиме випромінення. Ті ж, що утворюють близьке інфрачервоне (ІЧ) випромінення українською мовою конкретніше мають так і називатися «діоди інфрачервоного випромінення (ДІЧВ)». Проте, взагалі обидва ці різновиди діодів зазвичай приписуються до СВД, і, оскільки для обох різновидів загальними є засоби вимірювань та параметри, термін «СВД» скрізь в цьому стандарті застосовується до пристроїв обох різновидів. З'явилися також діоди, які утворюють ультрафіолетове (УФ) випромінення (в українській аббревіатурі – ДУФВ). Цей стандарт стосується лише світлових та колірних параметрів тих пристроїв, що утворюють видиме випромінення, але якщо є якісь сумніви, у відповідному місті надається уточнення.

Визначення окремих термінів, застосовуваних в цьому документі, таких як:

- середня сила світла СВД;
- частковий потік СВД.

не надаються в [3].

Дивіться їх визначення відповідно в підрозділі 4.3 та пункті 6.1.2.

1.3 Мета стандарту

СВД виробляються в необмежених кількостях і в широкому діапазоні різновидів, що мають відповідати різним технічним умовам і призначені для різних використань.

Під час вимірювань параметрів СВД широкого діапазону різновидів мають розглядатися різноманітні властивості утворюваного оптичного випромінення не тільки стосовно діодів, а також стосовно того, як вони діють на фотоприймач. Має розглядатися низка можливих впливів на результати вимірювань і відповідно виникає велика відносна похибка (невизначеність) вимірювань. Низькі рівні променевих потоків окремих потоків окремих видів СВД можуть обмежувати розпізнавальну здатність вимірювань параметрів просторового та спектрального розподілів. Для збільшення вхідного сигналу фотоприймача, використовуються заходи загальних методик, наприклад, сила світла СВД вимірюється на відносно малих відстанях в достатньо великих тілесних кутах променевого потоку СВД. В таких випадках СВД розглядається не як точкове джерело, і результати вимірювань дуже залежать від супутніх геометричних умов. Для мінімізації різниці в результатах в цьому документі стандартизуються такі геометричні умови, щоб значення, одержані різними користувачами, могли бути порівнюваними та відтворюваними.

Було відібрано і нижче надаються визначення різних енергетичних, світлових і колірних величин, які характеризують СВД, щоб показати деякі обмежуючі умови, що застосовуються під час вимірювань, рекомендації надаються стосовно вимірювань за нових стандартних умов СІЕ, які можуть використовуватися для встановлення технічних умов на властивості СВД.

Діоди, які утворюють видиме випромінення широко використовуються там, де сигнал передається в око людини або призначено для освітлення. Це спричиняє характеризування

променевих потоків не тільки в термінах енергетичних величин, а також, в разі потреб, і в термінах світлових і колірних параметрів. Як енергетичні, так і світлові величини завжди мають вимірюватися в одиницях СІ.

Вимірювання параметрів СВД зазвичай проводяться з використанням джерел живлення постійної напруги з функціонуванням за установлених умов. Показання мають зніматися за умов теплової рівноваги, якщо напруга живлення змінюється в **мультиплексовому** або **модульованому режимі** і навіть, якщо вона є придатною для того, щоб забезпечити випробуваному СВД таке саме ефективне енергоспоживання, знайдені вимірюваннями значення будуть усередненими за часом і можуть суттєво змінювати значення параметрів СВД.

Причини та можливі впливи цього на результати вимірювань обговорюються.

1.4 Види вимірювань параметрів СВД

Вимірювання параметрів СВД можна поділити на два види:

1.4.1 Лабораторні вимірювання

Більшість виробників і масових користувачів СВД спочатку оцінюють вироби в спеціалізованих лабораторіях. Потім стосовно СВД різних видів розробляються робочі стандарти контролю якості продукції.

1.4.2 Масовий контроль

Масовий контроль застосовується у виробництві або для перевірки якості придбаних виробів. Установлені випробування мають проводитися з високою швидкістю, щоб охопити велику кількість виробів, і тому часто спрощуються або змінюються стандартні умови вимірювань. Ці спрощені або змінені умови вимірювань можуть

застосовуватися наскільки, наскільки результати цих вимірювань узгоджуються з результатами лабораторних вимірювань.

Якщо встановлені таким чином вимірювання параметрів СВД проводяться поза (спеціалізованою) лабораторією, особливо важливо мати градуйовані еталони СВД з тими самими просторовим та спектральним розподілами, що й у випробуваних СВД, з упевненістю, що вимірювання проводяться, настільки наскільки це можливо, на основі прямої заміни зразків виробами подібного виду.

2 ВЛАСТИВОСТІ СВД

2.1 Оптичні властивості СВД

Випромінення СВД може характеризуватися енергетичними або спектральними параметрами. Якщо діод утворює видиме випромінення, його світлові та колірні параметри мають відповідати вимогам щодо його діяння на око людини. Для характеризування оптичних випромінень, утворених діодом, можуть використовуватися енергетичні, спектральні, світлові та колірні величини у відповідних одиницях.

Відомо, що всі енергетичні величини мають світлові аналоги [4]. Різницею є лише те, що перші з них оцінюються в енергетичних одиницях, в той час як останні нормуються за допомогою функції спектральної видності $V(\lambda)$ і помножуються на $K=683 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$. Для запобігання зайвих повторень того, яких з цих величин стосуються коментарі в цьому стандарті, даються звернення лише до світлових величин. Якщо мова йде про вимірювання енергетичних величин, світлові терміни можуть замінюватися енергетичними аналогами.

Характеризування оптичних вимірювань СВД має базуватися на тих самих способах і підходах, що й для інших категорій джерел світла. Визначення різних світлових, енергетичних і колірних величин

надаються в Міжнародному словнику світлотехнічних термінів [3]. Основні положення колориметрії надають у відповідних публікаціях СІЕ [4] та [5]. Повніше та більш докладніше про вимірювання параметрів оптичних випромінень та колірних параметрів можна знайти, наприклад, в публікаціях [6] та [7].

Існують сотні видів СВД, доступних на ринку, які відрізняються не лише спектральними, а також і просторовими розподілами випромінень від діодів з квазіламбертовськими до діодів з вузькоколіматованими (сконцентованими) параметрами, з усілякими можливими відмінностями між ними. Крім того можна для характеризувати СВД використовувати деякі величини, що зазвичай застосовуються для описів випромінень світильників.

2.1.1 Просторовий розподіл

Оптичне випромінення СВД утворюється в напівпровідниковому кристалі, змонтованому в корпусі певної форми, де також забезпечується контактування та утримування кристала.

Слід зауважити, що конструкцією зазвичай змінюються спектральний та просторовий розподіли потоку, випромінюваного кристалом, що досягається за допомогою вмонтованих відбивачів або лінз, а іноді й розсіюючих елементів, кольорових фільтрів або люмінофорних покриттів.

На рис. 1 схематично показано підбірку приладів різних просторових розподілів сил світла СВД, яка демонструє очевидну існуючу різноманітність та пов'язані з цим складності щодо визначення єдиного способу вимірювань та характеризування.

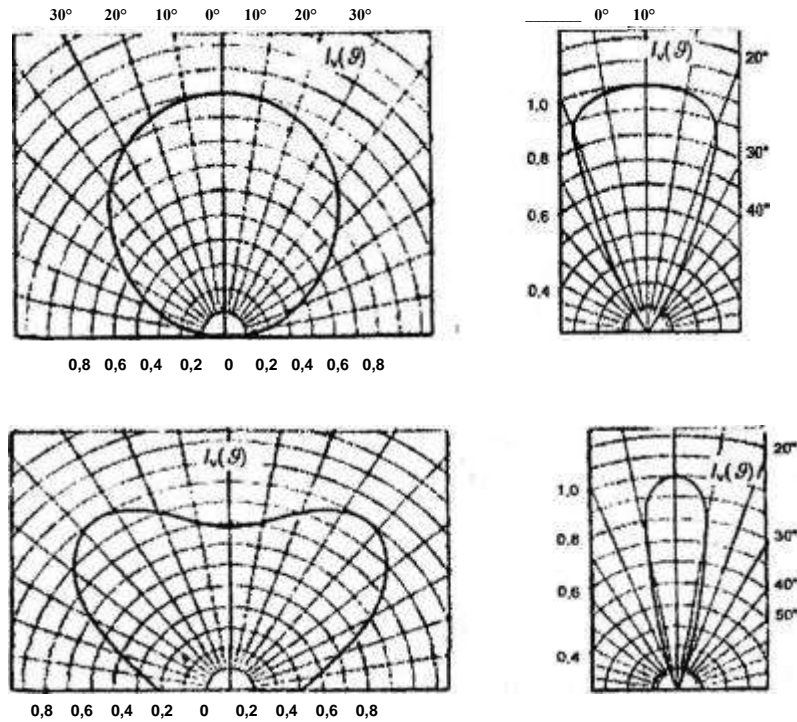


Рисунок 1 – Підбірка прикладів типових просторових розподілів сил світла окремих видів СВД. Розподіли побудовано з нормуваннями максимальних значень до одиниці.

2.1.2 Спектральний розподіл

Спектральний розподіл оптичного випромінення, утвореного СВД, є характеристикою таких пристроїв і за різними ознаками відрізняється від розподілів оптичних випромінювань інших джерел. Спектральні розподіли типових одноколірних СВД не є ні монохроматичними (як у випромінень лазерів), ні широкосмужними (як у ламп розжарювання), а чимось середнім (квазімонохроматичним) з шириною спектра в кілька десятків нанометрів. Типові спектральні розподіли відносних інтенсивностей СВД видимого діапазону, показано на рис. 2. Слід зазначити, що випромінювальні коефіцієнти

корисної дії (ККД) різних СВД суттєво залежать від довжин хвиль, що відповідають максимумам випромінювання в їх спектрах.

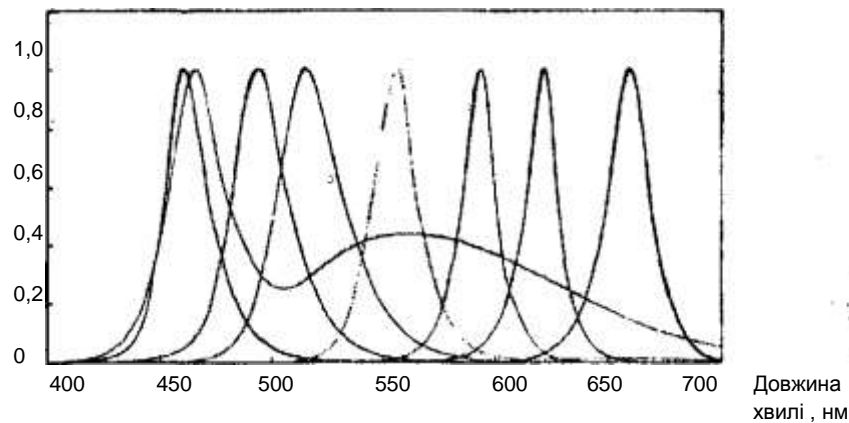


Рисунок 2 – Спектральні розподіли відносних інтенсивностей випромінювання окремих типових СВД.

2.1.3 Зона випромінюєності

Малість корпусів, використовуваних в СВД, обумовлює велику різноманітність розмірів і форм світловипромінюючих поверхонь. Зона випромінюєності характеризується її розмірами, формою та характером яскравості на ній. Яскравість усієї світловипромінюючої поверхні СВД визначається середнім значенням розподілу яскравості по зоні випромінюєності. Зазвичай значення яскравості є максимальним по центру випромінюваного пучка світла з відчутно меншими значеннями на краях; тому є суттєво різними світлорозподіли у таких пристроїв, як світлодіодні лампи (далі – СДЛ).

У деяких випадках, СВД використовуються за таких умов, коли відстань між існуючим «вікном» в корпусі та фотоприймачем є відносно малою настільки, що світловипромінююча поверхня діє як протяжна зона, і джерело світла за такої ситуації не може вважатися точковим; відношення освітленостей, утворюваних на різних відстаннях перестає відповідати закону зворотної пропорційності

квадрату відстані, і характер випромінювання іншим чином залежить від відстані до його джерела. Це вважається умовами «близької зони», про що докладніше див. публікацію [8].

Навпаки, умови «далекої зони» існують тоді, коли розміри зони випромінювання є достатньо малими в порівнянні з відстанню вимірювань, коли закон оберненої пропорційності квадрату цієї відстані є справедливим або коли характер вимірювання не залежить від відстані до його джерела. Уявлення про умови близької та далекої зон надаються в розділі 4.

2.2 Електричні параметри

2.2.1 Електричні умови функціонування

СВД зазвичай функціонують з живленням від джерел постійної напруги з її прикладанням в напрямку прямого струму I_n сталого значення, пов'язаним з певним (прямим) падінням напруги U_n , яке вимірюється між контактами СВД. Для підвищення точності вимірювань рекомендується мати окремі контакти для підведення струму до СВД і окремі для проведення вимірювань (чотириполюсна розетка). Це суттєво під час функціонування за більших значень струму, що є типовим у разі **однотактного** або мультиплексного режиму. Споживана електрична потужність визначається формулою:

$$P = U_n \cdot I_n \quad (1)$$

За малих струмів променевий (світловий) потік зростає швидше, ніж електрична потужність (післяпусковий діапазон). За великих струмів нахил графіка залежності зменшується (ділянка насичення), що в основному спричиняється нагрівом кристала СВД. За умов звичайного функціонування (між післяпусковим діапазоном та ділянкою насичення) інтенсивність оптичного випромінювання СВД лінійно залежить від електричного струму. Тому для характеризування

властивостей СВД рекомендується проводити вимірювання за умов устанавленого струму.

Багатьом традиційним джерелам світла притаманна чітка залежність світлового потоку від споживаної електричної потужності. Щодо СВД це – не так. За сталого значення струму пряме падіння напруги зменшується зі зростанням температури середовища. Налаштування електричних умов функціонування лише для стабілізації споживаної СВД потужності буде зменшувати температура кристала, а тому впливатиме на падіння напруги на СВД. З цієї причини тільки стабілізація електричної потужності не рекомендується як засіб підвищення виходу випромінення з СВД.

2.2.2 Функціонування еталонних зразків

Прилади, використовувані для вимірювань параметрів СВД мають градуюватися за допомогою їх зразкових еталонів, які мають спеціально відбиратися та підготовлятися. Вони мають функціонувати за ustalених значень струму та температури кристала. Якщо для регулювання температури кристала використовується додаткова теплова система, стабілізація СВД може здійснюватися за допомогою незалежного (в цьому випадку) від температури прямого падіння напруги, як індикатора утримування специфікованого значення.

СВД, використовувані як зразкові еталони, можуть спеціально виготовлятися в поєднанні з окремими резисторами або транзисторами, змонтованими всередині корпусу СВД з оптимізацією теплового контактування між радіатором і кристалом. Подібний зразковий еталон схематично показано на рисунку 3. Такий підхід настійно рекомендується до всіх зразкових еталонів СВД.

Градування первинних зразкових еталонів має проводитися національним інститутом метрології або лабораторією, підконтрольною йому. Кожний градуований еталонний СВД має супроводжуватися зазначенням точності вимірювальної техніки та

передумов чинників невизначеностей. Має також зазначатися метрологічний інститут, де перевірилося градування.

Зразковий еталон СВД монтується в спеціально призначеному корпусі, типовому щодо видів СВД, які будуть випробовуватися. Вибраний СВД має бути попередньо відібраним та адаптованим зазвичай протягом 500 год. до умов, за яких потім він має функціонувати. Прискорення адаптації збільшеним струмом не рекомендується. Важливим є те, щоб СВД, відібраний для використання як еталонний, мав такі самі просторовий та спектральний розподіли променевого потоку, що й випробувані СВД. Корпус зразкового еталону СВД має бути поєднано з термостатом для утримання його за обумовленого значення температури та забезпечення стабілізації за струмом і сталих вихідних оптичних параметрів.

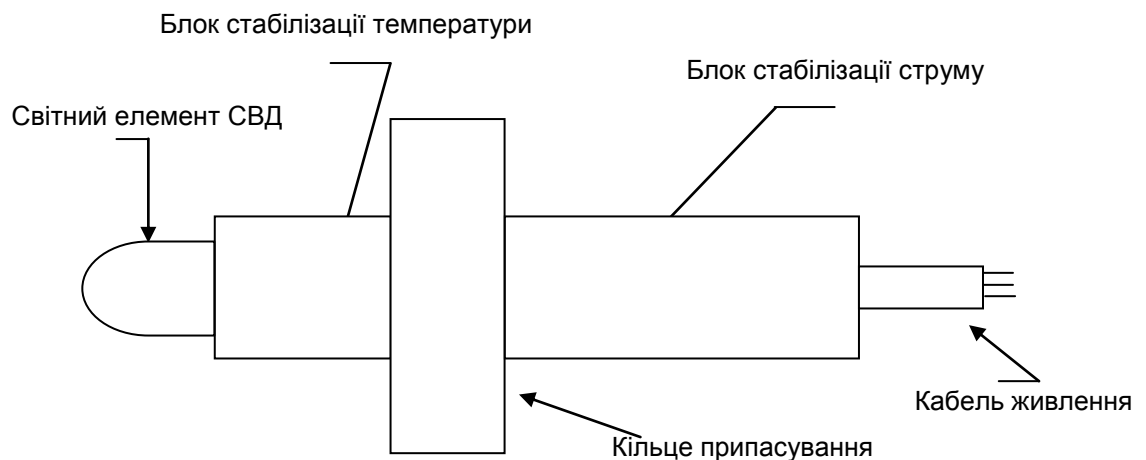


Рисунок 3 – Схема температурної стабілізації еталону СВД

2.2.3 Режими функціонування з часовими залежностями

У багатьох використаннях СВД функціонують за таких струмозмінних режимів, як режим модульованого струму, однокантний або мультиплексний режим. Тому вихідні параметри СВД залежать від умов їх функціонування. Під час занесення до протоколу даних, які

характеризують властивості СВД важливо зазначити режим їх функціонування.

2.2.3.1 Режим модульованого струму

В разі функціонування в режимі модульованого струму його зростання спричиняє збільшення як променевого потоку, так і температури кристала, яке в свою чергу викликає збільшення променевого потоку; температура кристала буде також змінюватися так, що середні значення вихідних параметрів будуть відрізнятися від одержуваних в разі стабільного функціонування на постійному струмові того самого значення. Таким чином, ККД випромінення (h_e), який є відношенням променевого потоку Φ_e до вихідної електричної потужності P , є функцією середнього значення струму, навіть тоді, коли СВД нормально функціонує у звичайному діапазоні між рівнями виникнення струму та його насичення.

2.2.3.2 Імпульсний режим

Під час виробничого контролю вимірювання проводяться для характеризування властивостей кожного СВД, що часто здійснюється в однотактному режимі з тривалістю такту в частку секунди та зі струмом на рівні приблизно звичайного рівня за умов постійного струму. У більшості СВД значення теплових потужностей та параметрів теплового контактування кристалів з корпусами є також великими за значенням температури кристала, яке за умов постійного струму досягається за такий самий короткий час. Отже, розгляданий режим змінює одержувані значення параметрів СВД. Випадково, ці значення за умов однотактного режиму суворо корелюють зі значеннями за умов постійного струму. Істинні значення параметрів окремих видів СВД може бути обчислено за допомогою корегувань, визначених на основі кількох додаткових вимірювань.

2.2.3.3 Мультиплексний режим

За умов мультиплексного режиму періодично на короткий час вмикається та вимикається струм, середнє за часом значення якого дорівнює значенню постійного струму за умов звичайного функціонування. Як і у випадку одноканального режиму має бути досягнуто кореляції між відношеннями вихідних параметрів до струмів у мультиплексному режимі та в режимі постійного струму, що можна також досягти кількома додатковими вимірюваннями.

Цей стандарт обмежується розглядом режимів постійного струму, але методики вимірювань електричних параметрів, які пропонуються в цьому випадку може бути замінено іншими умовами з відповідними узгодженнями. Оптична частина вимірювальної системи залишається незмінною, але має звертатися увага на забезпечення того, щоб фотоприймач і прилад вимірювань фотострумів лінійно усереднювали світлові потоки.

2.2.4 Пряме падіння напруги

Значення прямого падіння напруги залежить від напівпровідникового матеріалів СВД з різноманітністю до 5 різних видів, які є в наявності. За встановлюваного зазвичай значення струму функціонування 20 мА типові значення падіння напруги становлять від 1,2 В у ДІЧВ до 6,5 В у синіх СВД. Падіння напруги U_n окремих СВД залежить від струму I_n та від температури напівпровідникового р–n-переходу, яку в першому наближенні може бути замінено температурою T_k кристала

$$U_n = U_n(T_k, I_n) \quad (2)$$

Повний диференціал dU_n розрізняє два впливання

$$dU_n = \frac{U_n}{I_n} \cdot dI_n + \frac{U_n}{T_k} \cdot dT_k \quad (3)$$

2.2.4.1 Залежність прямого падіння напруги від струму

За умов стабілізованої температури залежність між прямим падінням напруги та струмом має добре відомий характер, загальний для всіх напівпровідникових діодів. В діапазоні звичайного функціонування – між післяпусковим рівнем та рівнем насичення, вона добре наближається до лінійної залежності з тангенсом кута нахилу

$$\frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial I_{\text{п}}} \approx 10 \text{ В} \cdot \text{А}^{-1} \quad (4)$$

Якщо СВД функціонує, маючи робочу точку, що відповідає струму $I_{\text{п}0}$ з відповідним прямим падінням напруги $U_{\text{п}0}$ і диференціальний опір в цій точці визначається як

$$R_{\text{п}0} = \frac{\Delta U_{\text{п}0}}{\Delta I_{\text{п}0}} \quad (5)$$

то ампер-вольтова характеристика може бути апроксимована формулою

$$U_{\text{п}}(I_{\text{п}}) = R_{\text{п}0} \cdot I_{\text{п}0} \cdot \ln\left(b \cdot \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{п}0}} - 1\right), \quad (6)$$

де
$$b = \exp\left(\frac{U_{\text{п}0}}{R_{\text{п}0} \cdot I_{\text{п}0}}\right) \quad (7)$$

На рис. 4 показано залежність між прямим падінням напруги на СВД та струмом за робочої точки, що відповідає умовам $U_{\text{п}0}=2 \text{ В}$ та $I_{\text{п}0}=20 \text{ мА}$, за чотирьох різних значень диференціального опору $R_{\text{п}0}$.

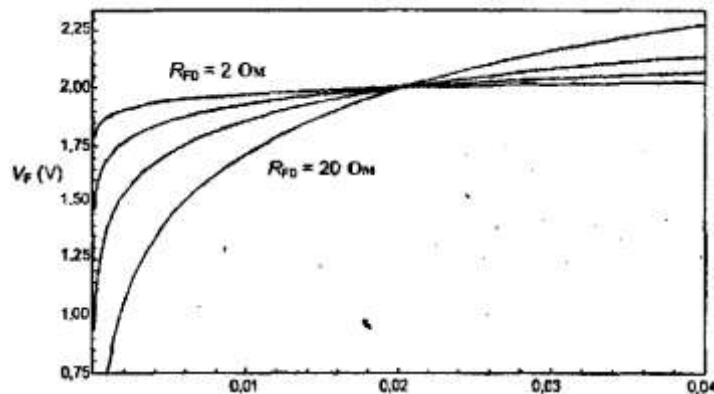


Рисунок 4 – Залежність між прямим падінням напруги і струмом типових СВД за умов $U_{\text{п}0}=2 \text{ В}$ та $I_{\text{п}0}=20 \text{ мА}$ та за різних значень $R_{\text{п}0}$.

2.2.4.2 Залежність прямого падіння напруги від температури

В разі функціонування за звичайної температури середовища питомі значення температурного коефіцієнта $\frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial T_{\text{к}}}$ прямого падіння напруги в більшості СВД за умов постійного струму припадають на діапазон

$$\frac{\partial U_{\text{п}}}{\partial T_{\text{к}}} [-1,5; 2,5] \text{ мВ} \cdot \text{°C}^{-1} \quad (8)$$

2.2.5 Температура середовища

Якщо не встановлюється інше, температура середовища T_c , за якою оцінюються параметри СВД, має становити 25 °С. Після подачі вхідної потужності на кристал його температура T_k зростає та стабілізується на рівнів $T_k > T_c$. Рівень температурних змін залежить від величини вхідної потужності, теплоємності та теплопотужності корпусу СВД. Після досягнення теплової рівноваги значення T_k визначається передачею тепла до середовища, яка відбувається в основному через підкладку СВД (у випадках старих конструкцій – через струмоувід СВД). Як наслідок, теплообмінні властивості електричних контактів живлення СВД та довжини дротів між кристалом і контактами можуть суттєво впливати на результати вимірювань.

Температура кристала СВД буде більш або менш незмінною за умов короткочасного однократного режиму функціонування, але в разі функціонування за умов постійного струму зазвичай буде мале зростання температури. Температурні явища, які відбуваються в разі модульованого або мультиплексного функціонування описано вище в підпункті 2.2.3.1.

2.3 Впливання температури на випромінювання

2.3.1 Зміщення довжини хвилі максимуму випромінювання за змінення температури

За постійного струму та температурно стабілізованого падіння напруги потужність, споживана СВД, буде сталою. Проте слід

зазначити, що стабілізація потужності без регулювання температури, буде спричиняти досить різні умови функціонування. На спектральний розподіл відносної інтенсивності випромінення це буде впливати двома шляхами. З одного боку, буде дещо змінюватися форма кривої розподілу; з іншого боку, зі зростанням температури весь графік розподілу може суттєво зміщуватися: у СВД на основі GaAsP – в бік довгих хвиль, а у СВД на основі GaInN (наприклад, у синіх СВД) – в бік коротких. Стосовно типових СВД це зміщення становить

$$\frac{\partial \lambda_p}{\partial T_k} [0,1; 0,3] \text{ нм} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \quad (9)$$

2.3.2 Впливання температури на ККД та світлову віддачу

Малі змінення температури дуже слабо впливають на випромінювальні ККД – СВД. Світлові видачі зелених СВД є завжди майже сталими, оскільки довжини хвиль максимумів випромінення таких СВД і функції $V(\lambda)$ є близькими. На світлові віддачі СВД з максимумами випромінень на «хвостах» функції $V(\lambda)$ зміщення спектрального розподілу впливає сильніше. Тому світлові віддачі червоних або синіх СВД змінюються суттєво за відносно малих змінень температури. Оскільки характери спектральних розподілів СВД залежать як від споживаної потужності, так і від температури кристала, стабілізація струму та температури є найкращими способами регулювання умов функціонування та підтримування устанавленого спектрального розподілу.

2.4 Технологічні відхилення

Деякі з важливих величин, використовуваних для характеризування оптичних випромінювань діодів залежать від просторових розподілів. Тому важливо точно орієнтувати СВД перед вимірюваннями їхніх параметрів. На жаль, існує дві осі обертання навколо напрямку від СВД – одна є пов'язаною з корпусом, а друга – з

просторовим розподілом утворюваного випромінення. Зони випромінюваності, які можуть мати різні форми, розміри та структури, часто не мають чітко вираженого обмеження контурів; тому може бути складно точно визначити місце розташування світлового центра. З додаванням типових технологічних відхилень це спричиняє ускладнення з розташуванням та орієнтуванням і призводить до збільшення невизначенностей вимірювань.

На рис. 5 показано СВД, у якого геометрична вісь корпусу та оптична вісь пучка світла не співпадають. Під час виробничих випробувань зазвичай бракує часу для встановлення СВД у випробний затискач так, щоб сила світла вимірювалася в напрямку оптичної осі. В разі відбирання СВД для еталонів важливим є те, щоб у них оптичні та геометричні осі співпадали.

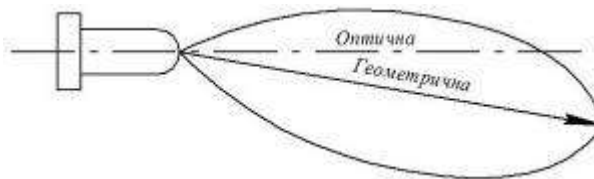


Рисунок 5 – СВД, в якого геометрична та оптична осі не співпадають.

3 ВЛАСТИВОСТІ ФОТОМЕТРІВ/РАДІОМЕТРІВ

Для контролювання СВД використовуються фотометри або радіометри та/або спектрорадіометри в залежності від того, які енергетичні чи світлові або ті й інші, параметри мають вимірюватися. Спектральні вимірювання описано в розділі 7. Фотометр або радіометр зазвичай складається з фотоприймача, оптичного фільтра, вхідної апертури (отвору) та електронного кола для посилення вихідних сигналів фотоприймача та для вимірювань. Щодо загальних вимог до

стандартних фотометрів див. [9]. Нижче надається деяка специфічна інформація та вимоги щодо вимірювань параметрів СВД.

3.1 Фотоприймачі

Для вимірювань параметрів в СВД в складі фотометрів і радіометрів зазвичай використовуються кремнійові **фотодіоди**. Вони мають чутливості від УФ діапазону до ІЧ межі 1100 нм з максимумом чутливості близько 900 нм. Кремнійові фотодіоди мають лінійні чутливості в межах кількох десятків нанометрів і мають незначну залежність чутливості від температури. Слід зауважити, що фільтри мають суттєві залежності їх пропусканостей (коефіцієнтів пропускання) від температури.

3.2 Кутова та просторова чутливість фотометра/радіометра

Чутливості фотометрів і радіометрів для вимірювань середніх сил світла / сил випромінювання СВД не повинні мати **косинусні чутливості**, оскільки світло падає в межах малих кутів. Необхідно лише, щоб вони мали сталі чутливості в діапазонах кутів, в межах яких випромінювання від випробуваного СВД потрапляє в фотометр або радіометр. Тому в разі вимірювань сили світла косинусне коригування у фронтальній площині фотометра або радіометра не є потрібним; проте може використовуватися розсіювач для утворення світної зони, більшої ніж світлочутлива зона фотоприймача (Слід зазначити, що в разі малих відстаней до джерела світлочутлива зона фотоприймача має бути суттєво більшою, ніж фронтальна апертура фотометра). З іншого боку, фотометр/радіометр з інтегруючою кулею для вимірювань світлових або променевих потоків потребує суттєвого косинусного коригування.

Під час вимірювань середньої сили світла СВД (див. підрозділ 4.3) чутливість вхідної апертури (отвору) фотометра/радіометра має

бути рівномірною для забезпечення того, щоб увесь променевий потік, що потрапляє на апертуру вимірювався з однаковою вагомістю. Деякі СВД мають вузькі кути пучків або нерівномірні розподіли сили світла і тому можуть утворювати нерівномірні розподіли освітленості на апертурі. Якщо чутливість вхідної апертури є нерівномірною, це може спричинити суттєві похибки вимірювань середньої сили світла СВД, зокрема в разі геометрії СІЕ-В у таких діодів. Може бути сконструйовано фотометр з достатньою просторовою рівномірністю без використання розсіювача (див. [10], буде опубліковано) (він потребує фотодіода з великою площею), або з використанням малої інтегруючої куля як вхідної оптики. Для цього також часто використовується розсіювач (наприклад, опалове скло), особливо тоді, коли використовується малий фотодіод. Зазвичай за допомогою розсіювача складніше досягти достатньої просторової рівномірності. Для досягнення такої рівномірності потрібна ретельна розробка фотометра та підбір розсіюючих матеріалів.

Функція $s(\lambda)$ (абсолютної) спектральної чутливості фотометра/радіометра може бути представлена через абсолютизуючий коефіцієнт s_0 та функцією $s_{\text{вд}}(\lambda)$ відносної спектральної чутливості за допомогою формули:

$$s(\lambda) = s_0 \cdot s_{\text{вд}}(\lambda) \quad (10)$$

Рекомендації щодо процедури визначення спектральної чутливості приймача оптичного випромінення див. в [11].

Якщо на фотоприймач падає випромінення, що має функцію $X(\lambda)$ абсолютної густини спектрального розподілу в фотоприймачеві виникає фотострум, значення якого можна оцінити за допомогою формули

$$i = X_0 \cdot s_0 \cdot \sum_{i=1}^n s_{\text{вд},i} \cdot \varphi_i \cdot \Delta\lambda_i, \quad (11)$$

При цьому $X(\lambda)=X_0 \cdot \varphi(\lambda)$ означає певну світлову або енергетичну величину, яка вимірюється і

X_0 – абсолютизуючий коефіцієнт;

$\varphi(\lambda)$ – функція відносної густини спектрального розподілу променевого потоку.

У формулі (11):

$S_{\partial,i}$ – значення функції відносної спектральної чутливості фотоприймача на i -му інтервалі довжин хвиль λ .

φ_i – значення функції $\varphi(\lambda)$ на тому самому інтервалі;

$\Delta\lambda_i$ – вибрана величина інтервалу довжин хвиль.

Підсумовування ведеться по всіх інтервалах спектра випромінювання, що падає на фотоприймач.

В разі вимірювань світлового параметру білого СВД з суцільним спектром випромінювання по всій видимій області спектра (від 380 нм до 760 нм) число n інтервалів (над знаком Σ суми) може дорівнювати 38, 76, 190 або 380 у випадках, коли за величину інтервалу $\Delta\lambda$ вибрано відповідно значення 10; 5; 2 та 1 нм.

Функція відносної спектральної чутливості радіометра має бути якомога наближеною до функції $V(\lambda)$ денного зору (див. [3]) і бути якомога сталою в межах установленого спектрального діапазону.

3.3.1 Фотометр для вимірювань параметрів білих СВД

Комерційно доступні фотометри зазвичай класифікуються згідно з їх числом f_1^* (див. [12]). Фотометри з такою класифікацією рекомендуються для вимірювань параметрів білих СВД. Крім випадків, коли застосовується коригування невідповідності спектрів (як описано в підрозділі 5.2), рекомендується, щоб фотометри, використовувані для вимірювань параметрів білих СВД мали числа $f_1^* < 3\%$. Число f_1^* визначається за допомогою формули:

$$f_1^* = \frac{\sum_{i=1}^n |s_{\text{вд}i}^* - v_i| \cdot \Delta\lambda_i}{\sum_{i=1}^n v_i \cdot \Delta\lambda_i}, \quad (12)$$

де

$$S_{\text{ВД},i}^* = S_{\text{ВД},i} \cdot \frac{\sum_{n=1}^n \varphi_{i,A} \cdot V_l \cdot \Delta\lambda_i}{\sum_{n=1}^n \varphi_{i,A} \cdot S_{\text{ВД},i} \cdot \Delta\lambda_i} \quad (13)$$

значення функції нормалізованої відносної спектральної чутливості фотоприймача;

$\varphi_{i,A}$ – значення функції відносної густини спектрального розподілу променевого потоку **стандартного випромінення (ілюміната) А СІЕ**.

Останнє вводиться для того, щоб враховувати той факт, що фотометр зазвичай градується з використанням вольфрамової лампи розжарювання зі **спектральною температурою** стандартного випромінювача А СІЕ. Похибки в разі білих СВД будуть мінімізовані, якщо число f_1^* є малим, але завжди необхідно належним чином оцінювати невизначеності.

Якщо фотометр, вибраний для вимірювань параметрів СВД не відповідає цим рекомендаціям щодо f_1^* , використання такого фотометра має бути обмежено повною взаємозамінністю (порівнянням випробуваного та еталонного СВД одного типу та однієї колірності), або стосовно таких фотометрів можуть використовуватися дані щодо окремих значень відносної спектральної чутливості так, що може бути застосовано коригування різниці в спектрах (див. підрозділ 5.2).

3.3.2 Фотометри для вимірювань кольорових (не білих) СВД

В разі однокольорових СВД, похибки, пов'язані з різницею в спектрах можуть бути дуже великими, навіть коли f_1^* є достатньо малим, через те, що максимуми випромінень СВД потрапляють на «хвости» функції $V(\lambda)$, де різниця в формулі (12) слабо впливає на значення f_1^* , але саме воно може спричиняти великі похибки.

Визначення кращого та більш придатного числа для кращої відповідності з функцією $V(\lambda)$ є поза сферою застосування цього стандарту.

З попередніх даних (див. [13], буде опубліковано) витікає, що одного числа, подібного до f_1^* не достатньо для оцінки точності фотометра для вимірювань параметрів СВД усієї різноманітності кольорів; замість нього потрібно не менше, ніж чотири числа.

Рекомендується, щоб фотометри для вимірювань параметрів однокольорових СВД, супроводжувалися даними щодо значень їх відносних спектральних чутливостей та прикладами, як застосовувати коригування похибок, пов'язаних з різницею в спектрах і як оцінювати невизначеності вимірювань світлових параметрів певних кольорових СВД.

4 ВЕЛИЧИНИ, ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬСЯ ПРОСТОРОВИМИ СПІВВІДНОШЕННЯМИ

4.1 Абсолютизуючий коефіцієнт і розподіл відносної сили світла

Зазвичай сила світла $I(\vartheta, \varphi)$ залежить від напрямків, які в сферичних координатах визначаються кутами ϑ та φ , і цю залежність може бути представлено у вигляді просторового розподілу. Слід зазначати, що вимірювання сили світла, в тому числі, стосовно конфігурації просторового розподілу, мають проводитися в межах елементарного тілесного кута $d\Omega$, і це вимагає того, щоб діаметр вхідної апертури фотоприймача та розміри джерела світла були малими у порівнянні з відстанню між ними. Якщо знайдено абсолютне значення сили світла $I(\vartheta, \varphi)$ в установленому базовому напрямку, що відповідає умовам $\vartheta = \vartheta_0$ та $\varphi = \varphi_0$, і позначено як $I_{00} = I(\vartheta_0, \varphi_0)$, воно може

використовуватися як нормалізуючий (абсолютизуючий) коефіцієнт, і може бути визначена функція $G(\vartheta, \varphi)$ просторового розподілу відносної сили світла. Функцію просторового розподілу (абсолютної) сили світла $I(\vartheta, \varphi)$ може бути записано у вигляді:

$$I(\vartheta, \varphi) = I_{00} \cdot G(\vartheta, \varphi), \quad (14)$$

звідки

$$G(\vartheta, \varphi) = \frac{I(\vartheta, \varphi)}{I_{00}}, \quad (15)$$

У просторовому розподілі сила світла не залежить від кута φ , за умов $\vartheta = 0$ та $\vartheta = \pi$. Таким чином, значенню в напрямку $\vartheta = 0$ під час нормалізації зазвичай надається перевага встановленням $I_{00} = I(\vartheta = 0)$.

Найпростішою формою функції $G(\vartheta, \varphi)$ є

$$G(\vartheta) = G \quad (16)$$

де $G = \text{const}$.

Цій вимозі відповідає сферичний просторовий розподіл точкового ізотропного (рівномірно випромінюючого) джерела.

Іншим просторовим розподілом, який має простий математичний вираз, є розподіл Ламберта. Якщо ϑ визначається, як кут між розгляданим напрямком та перпендикуляром до поверхні, всі значення в розподілі даються формулою:

$$G(\vartheta) = G_0 \cdot |\cos \vartheta|, \quad (17)$$

де діапазон кутів обмежується півсферою $0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{2}$. Цей просторовий розподіл зазвичай використовується як базовий.

Неможливо представляти більшість реальних просторових розподілів за допомогою простих математичних функцій, але симетричні просторові розподіли часто характеризуються встановленням кутів, які відповідають 50 % та 10 % максимального значення (див. [12]). Слід зазначити, що під час побудови кривих сил

світла (КСС) може бути більше, ніж один, кутів, які відповідають 50 % та 10 % максимального значення. В разі застосування цього способу рекомендується, щоб відкладання кутів, що відповідають таким значенням починалося з $\vartheta = 0^\circ$ (з вимірюваннями від напрямку геометричної осі).

СВД призначені (розробляються) головним чином для забезпечення розподілу з максимумом інтенсивності в напрямку $\vartheta = 0$, але це буває не в усіх випадках; і СВД деяких конструкцій дають суттєво менші значення в напрямку геометричної осі, ніж в напрямках деяких інших кутів. Один з прикладів на рис. 1 показує такий випадок. Іноді, навіть якщо СВД змонтовано в циліндричному корпусі, геометрична вісь (яка використовується для орієнтування СВД у вимірювальних пристроях) та оптична вісь (яка є віссю кругової симетрії просторового розподілу) через технологічні відхилення мають дещо різні напрямки (див. рис. 5). Під час вимірювань має братися до уваги, як це може вплинути на результати.

В будь-якому разі всі серійні СВД на мають абсолютно аксіально симетричних розподілів. На рисунку 6 показано дві загальні форми асиметричних просторових розподілів інтенсивностей СВД, які іноді трапляються і можуть спричинити складності з орієнтуванням. Зображений на рисунку 6а) розподіл має мінімум в напрямку осі корпусу ($\vartheta = 0^\circ$) і максимум в поза осьовому напрямку. На рисунку 6б) просторовий розподіл функції $I(\varphi)$ показано в перерізі за $\vartheta = const$ стосовно СВД форма розподілу інтенсивності якого спричинена відхиленням від кругової симетрії.

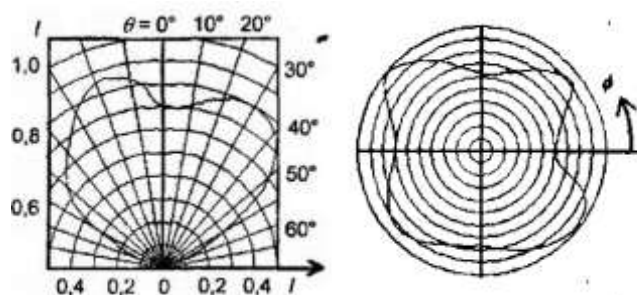


Рисунок 6 – Два несиметричних розподіли інтенсивностей, що найчастіше трапляються: а) оптична вісь не співпадає з геометричною; б) розподіл не є аксіально симетричним.

4.2 Вимірювання величин за напрямками

4.2.1 Сила світла

Сила світла визначається відношенням світлового потоку $d\Phi$, що утворюється джерелом і поширюється в елементарному тілесному куті $d\Omega$, який містить певний напрямок, до величини цього кута

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (18)$$

Хоча з першого погляду проведення вимірювань світлового потоку в тілесному куті в розгляданому напрямку може здаватися простою задачею, в реальних ситуаціях це часто буває небагато складнішим. Поняття сили світла потребує оцінювання точкового джерела, принаймні джерела малого настільки, що його розмірами можна нехтувати в порівнянні з відстанню між ним та фотоприймачем, і в принципі, це щонайменш потребує, щоб вимірювання здійснювалися в межах дуже малого тілесного кута.

Багато СВД мають відносно протяжні зони випромінюєностей (див. підрозділ 2.1.3), що в порівнянні з відстанями, на яких часто вимірюються їх параметри, можуть бути також великими настільки, щоб не вважатися точковими джерелами. Крім того, корпуси СВД часто містять лінзи, які зміщують світлові центри.

4.2.2 Освітленість

Освітленість $E_v(\vartheta, \varphi)$, утворювана на відстані d від джерела в напрямку (ϑ, φ) на елементі поверхні, перпендикулярному до цього напрямку, пов'язана з силою світла $I_v(\vartheta, \varphi)$ в цьому напрямку рівнянням

$$E_v(\vartheta, \varphi) = \frac{I_v(\vartheta, \varphi)}{d^2} \quad (19)$$

справедливим за умов, що відстань є великою настільки, щоб джерело могло вважатися точковим, і кутовий розмір фотоприймача є принаймні малим настільки, щоб освітленість була рівномірною,

формула (19) відома як закон обернених квадратів і може бути записана у вигляді:

$$I_v(\vartheta, \varphi) = E_v(\vartheta, \varphi) \cdot d^2 \quad (20)$$

Це є основою всіх вимірювань сили світла на практиці. Насправді вимірюваною величиною є освітленість поверхні фотометра, а сила світла потім обчислюється за допомогою формули (20) множенням освітленості на квадрат відстані від джерела.

Проте, для точного визначення сили світла важливо не тільки, щоб були відносно малими розміри джерела та кутовий розмір приймача, а й те, щоб можна було точно виміряти відстань між джерелом і фотометром. Оскільки може бути складно визначити фактичне місце розташування світлового центра СВД через наявність в ньому лінзи або з інших причин, відстань вимірюється від довільно вибраної точки на корпусі СВД.

4.2.3 Місце розташування випромінюючої поверхні

Якщо відстань вимірювань є достатньо великою, справжнє розташування базової точки не має суттєвого значення, але через велику кількість існуючих різновидів СВД, жоден простий спосіб не може привести до визначення мінімально достатньої відстані є точки зору точності вимірювань (див. [14]). З цієї причини зазначене видання рекомендує застосувати поняття «середня сила» випромінення (світла) СВД (підрозділ 4.3).

4.2.4 Вимірювання за умов «вузького» та «широкого» полів

Під час реальних вимірювань сили світла розміри випромінюючої зони та сприймаючої поверхні фотометра мають бути малими настільки, щоб ними можна було нехтувати в порівнянні з відстанню між зазначеними об'єктами. В цьому випадку буде справедливим закон обернених квадратів і опроміненість E_v поверхні приймача бути визначатися формулою $E_v = \frac{I_v}{d^2}$ (рівняння 19), де I_v –

сила світла джерела в певному напрямку, а d – відстань між світловим центром джерела та приймачем. Це іноді вважається умовами «далекого поля».

Проте, в багатьох випадках вимірювання проводяться на малих відстанях від СВД, коли й відносні розміри джерела є достатньо великими, щоб вважатися його точковим, і кутовий розмір приймача з місця перебування джерела стає також великим. Це є відомим як умови «близького поля». Закон обернених квадратів застосовуватися більше не може, і освітленість, вимірювана приймачем, стає критично залежною від умов вимірювань.

4.3 Середня сила світла СВД

У документації виробників одним з найбільш загальних параметрів, призначених бути мірою спрямованого випромінення СВД є сила світла. На жаль, в багатьох випадках цей термін застосовується некоректно; вимірювана величина насправді не є силою світла, визначеною в пункті 4.2.1.

Реальною застосованою процедурою є проведення вимірювань потоку, що падає на фотоприймач, розташований на відстані вимірювань від СВД і обчислення тілесного кута діленням площі приймача на квадрат відстані. Оскільки такі вимірювання зазвичай проводяться на відносно малих відстанях, випромінююча зона СВД, будучи в багатьох випадках достатньо не малою в порівнянні з відстанню до приймача, діє скоріше, як протяжна зона, ніж як точкове джерело. Це є ситуацією, що зветься умовами «близького поля», які описані вище. Якщо приймач є близьким до джерела, можливо також, що дійсний рівень сили світла буде суттєво відрізнятися від тих, що спостерігаються з окремих частин поверхні приймача.

В ситуаціях такого роду, які є дуже загальними в сфері вимірювань параметрів СВД, вимірювана величина не є силою світла в

традиційному сенсі, але являє собою середню силу світла діода, усереднену як по різних окремих елементах, що утворюють протяжну випромінюючу поверхню СВД, так і по різних частинах поверхні приймача. На жаль, ця різниця не є грою слів в існуючому формулюванні визначення. Це є реальною проблемою, тому що за такої ситуації результати вимірювань та використовуваність знайдених вимірюваннями значень критично залежить від умов, за яких проводяться вимірювання. Це спричиняє важливість узгодження та визначення точної геометрії вимірювань, яка б могла використовуватися стосовно широкого асортименту СВД, для правильного порівняння різних виробів і, що не менш важливо, однакових виробів різних виробників.

Як способу подолання цієї проблеми, СІЕ вирішила рекомендувати впровадження нового підходу, специфічного для випробувань СВД – описувати вимірювані величини за умов так званого «близького поля» та визначити дві пов'язані з цим стандартні геометрії вимірювань. Ці геометрії базуються на поточних методиках в промисловості та на думках, висловлених як виробниками, так і користувачами СВД.

Цей новий термін має назву «середня інтенсивність СВД» (середня сила світла СВД, середня сила випромінювання СВД).

Геометрії вимірювань позначаються як стандартні умови А та В СІЕ для випробувань СВД. Відповідно середні інтенсивності СВД, визначені за цих умов рекомендуються позначення $I_{\text{СВД А}}$ та $I_{\text{СВД В}}$. Вони можуть використовуватися як стосовно енергетичних, так і світлових величин (наприклад $I_{\text{СВД А е}}$; $I_{\text{СВД В в}}$).

За умов обох геометрій використовуються приймачі з круговою вхідною апертурою площею в 100 мм^2 (що відповідає діаметру 11,3 мм). СВД має розташовуватися передом до приймача і орієнтуватися так, щоб геометрична вісь СВД проходила через апертури приймача.

Різниця між умовами А і В полягає в різниці відстаней між СВД і приймачем.

Такими відстанями є:

- за стандартних умов СІЕ А – 316 мм;
- за стандартних умов СІЕ В – 100 мм.

В обох випадках відстані вимірюються від передніх куполів СВД до площини вхідної апертури фотометра або радіометра.

Якщо приймач було проградуєвано за освітленістю, середня сила світла СВД може бути обчислена за формулою:

$$I_{\text{СВД}v} = E \cdot d^2, \quad (21)$$

Цьому відповідають тілесні кути спостереження 0,001 ср в разі умов А та 0,01 ср в разі умов В, але для забезпечення відтворюваних результатів фактичні розміри є важливішим, ніж кути. Еквівалентними плоскими кутами є кут 2° в разі умов А і кут $6,5^\circ$ в разі умов В.

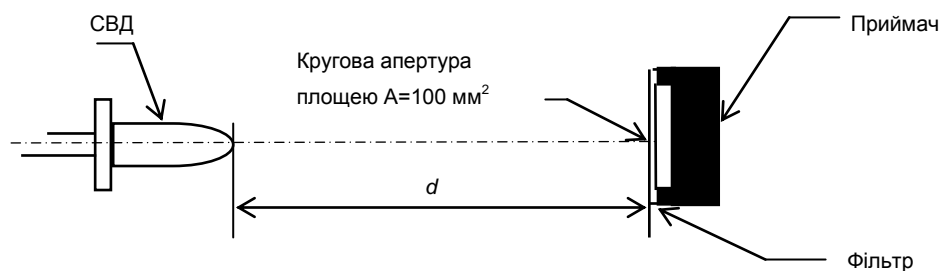


Рисунок 7 – Схема стандартних умов СІЕ для вимірювань середніх інтенсивностей СВД: $d=316$ мм (за умов А); $d=100$ мм (за умов В).

4.4 Вимірювання просторових і напрямних параметрів

Бажано, щоб СВД, відібрані для використання як робочі еталони, мали просторові розподіли відносної інтенсивності, подібні до розподілів випробуваних СВД. В разі вимірювань світлових потоків СВД з використанням інтегруючої кулі еталонні СВД повинні мати подібні параметри пучків для мінімізації похибок, пов'язаних з просторовими неоднорідностями в кулі. В разі вимірювань інтенсивності ці вимоги не є критичними, але використання еталонних

СВД з подібними параметрами пучків допоможе зменшити випадкові помилки (помилки, пов'язані з непрямим потраплянням до фотометра світла від джерела). Еталонні СВД для вимірювань інтенсивності має бути відібрано так, щоб оптичні осі пучків приблизно співпадали з геометричними осями, а просторові розділи поблизу осей (в межах $\pm 10^\circ$) були плавними і достатньо сталими настільки, щоб похибки, пов'язані з орієнтуванням, не спричиняли суттєвих невизначеностей вимірювань. СВД з дуже вузькими пучками та такі, що мають спотворення кривих розподілів інтенсивностей мають відкидатися. На першій стадії відбирання придатних для еталонів СВД мають проводитися вимірювання щодо визначення просторових розподілів. Якщо лабораторію оснащено гоніофотометром, він має використовуватися для проведення вимірювань параметрів просторових розподілів інтенсивності. Найкращим способом є розташування переднього купола СВД по центру гоніофотометра та вимірювання на такій великій відстані, на якій дозволяє приклад.

Якщо в лабораторії немає гоніофотометра, випробування можуть полягати в освітленні аркуша білого паперу пучками від СВД з порівняннями характеристик пучків.

5 ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНІХ СИЛ СВІТЛА СВД

5.1 Метод порівняння

Значення параметрів випробуваних СВД визначаються їх порівнянням зі значеннями параметрів еталонного СВД такого самого типу (з подібним спектральним розподілом). Градування здійснюється по еталонному СВД за умов тієї самої геометрії (за умов СІЕ А або В), за якої вимірюються параметри випробуваного СВД.

Значення середньої сили світла $I_{\text{СВД}}$ в канделах визначається за формулою:

$$I_{\text{СВД},X} = \frac{y_x}{y_{\text{ет}}} \cdot I_{\text{СВД},\text{ет}}, \quad (22)$$

де $I_{\text{СВД},\text{ет}}$ та $I_{\text{СВД},X}$ – значення середніх сил світла відповідно еталонного та випробуваного СВД; $y_{\text{ет}}$ та y_x – відповідно значення струмі в приймача фотометра стосовно цих СВД.

В разі такої прямої заміни не потрібні ніякі коригування щодо різниці в спектрах, і вимірювання є найпростішими. Проте, в разі вимірювань параметрів СВД великої кількості типів потрібна велика кількість еталонних СВД. (Крім того, ще буде похибка через малу різницю спектральних розподілів еталонного та випробуваного СВД).

5.1.1 Порівняння з кількома еталонами

В багатьох випадках виникає потреба випробувувати СВД такої великої кількості типів (колірностей), що не можливо накопичити відповідну кількість еталонних СВД. В таких випадках є придатний метод, описаний в підрозділі 5.2. Рекомендується, щоб сили світла еталонних СВД кількох колірностей, в яких є зацікавленість (повіреніх у компетентній лабораторії), було виміряно в умовах користувача, і результати було порівняно за невизначенностями вимірювань.

5.2 Коригування в разі різниці в спектрах

Цей метод потребує знання функції відносної спектральної чутливості головки фотометра. Остання градується на еталонному СВД певного кольору (наприклад, зеленого або білого) і значення сили світла СВД будь-якого кольору з коригуванням через різниця в спектрах визначається за допомогою такої формули:

$$I_{\text{СВД},X} = F \cdot \frac{y_x}{y_{\text{ет}}} \cdot I_{\text{СВД},\text{ет}} \quad (23)$$

де F – коефіцієнт коригування через різницю в спектрах, який стосовно випробуваного СВД кожного типу визначається як

$$F = \frac{\sum_{i=0}^n \varphi_{\text{ет},i} \cdot V_i \cdot \Delta\lambda_i}{\sum_{i=0}^n \varphi_{x,i} \cdot V_i \cdot \Delta\lambda_i} \cdot \frac{\sum_{n=i}^n \varphi_{x,i} \cdot S_{\text{вд},i} \cdot \Delta\lambda_i}{\sum_{n=1}^n \varphi_{\text{ет},i} \cdot S_{\text{вд},i} \Delta\lambda_i} \quad (24)$$

де $\varphi_{x,i}$ – значення функції відносної густини спектрального розподілу променевого потоку випробуваного СВД;

$\varphi_{\text{ет},i}$ – значення функції відносної густини спектрального розподілу променевого потоку еталонного СВД;

$S_{\text{вд},i}$ – значення функції відносної спектральної чутливості головки фотометра;

V_i – значення функції $V(\lambda)$ спектральної видимості.

Коефіцієнт F є коригуючим множником відношення значень вихідних сигналів головки фотометра.

5.3 Використання спектро радіометра

Спектро радіометр може використовуватися замість фотометричної головки для вимірювань середньої інтенсивності СВД тоді, коли цей прилад призначено для вимірювань параметрів СВД. Див. підпункт 7.4.1.1.

5.4 Метод зразкового приймача

Замість того, щоб використовувати еталонні СВД для градування фотометричної головки краще як еталон використовувати зразковий фотометр, що є звичайним в загальній фотометрії. Відібраний за високою якістю фотометр залишається стабільним протягом довгого часу. Головка фотометра, яка має апертуру, потрібну для вимірювань середніх сил світла, градується за чутливістю до освітленості [в А/лк] по спектру зразкового джерела (зазвичай стандартне джерело (ілюмінант) А СІЕ) на відстані, що відповідає умовам геометрій А та В СІЕ. Чутливості за цих умов можуть бути дещо різними через ефект близького поля. Таке градування головки фотометра може бути проведено в компетентній

лабораторії, або самим користувачем фотометра по еталонному СВД, повіреному в компетентній лабораторії. Якщо головка фотометра розташовується точно на відстані d (316 мм або 100 мм за умов геометрії А або В СІЕ) значення середніх сил світла СВД можна обчислювати без попереднього за допомогою формул:

$$I_{\text{СВД А}} = F \cdot d^2 \frac{y}{s_{\text{СВД А}}},$$

якщо $d=0,316$ м (25)

$$I_{\text{СВД А}} = F \cdot d^2 \frac{y}{s_{\text{СВД В}}},$$

якщо $d=0,100$ м, (26)

де y – значення сигналу (струму) головки фотометра;

$s_{\text{СВД А}}$ та $s_{\text{СВД В}}$ – значення відносних чутливостей головки фотометра відповідно за умов А і В СІЕ;

F – значення коефіцієнта коригування через різницю в спектрах.

Коефіцієнт F обчислюється за формулою (24). Різниця між цим методом і методом, описаним в підрозділі 5.2, полягає в тому, що в методі зразкового приймача проводиться градування головки фотометра. Чутливість базується лише на одному зразковому джерелі, і параметри СВД завжди вимірюються з коригуванням через різницю в спектрах. У цьому методі функція відносної спектральної чутливості головки фотометра має бути відома так само, як і функція відносної густини спектрального розподілу потоку випромінення випробуваного СВД. Фотометрична головка має періодично повірятися стосовно збереження прийнятого рівня невизначеності. В разі застосувань цього рекомендується, щоб сили світла еталонних СВД кількох колірностей, в яких є зацікавленість (повірених у компетентній лабораторії), було виміряно в умовах користувача, і результати було порівняно за невизначеностями вимірювань.

6. ВИМІРЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПОТОКІВ

6.1 Вимірювані величини

Термін «повний світловий потік» означає весь потік, утворюваний джерелом, тобто сумарний потік, що поширюється в усіх напрямках (в тілесному куті 4π ср.). Проте, він не завжди є важливішою величиною, яка потрібна у використанні окремих СВД. У деяких випадках є необхідним поняття часткового потоку, випромінюваного в межах певного тілесного кута, з нехтуванням потоком в непризначених напрямках (наприклад, у зворотньому напрямку). Тому на додаток до повного світлового потоку в сфері випробувань СВД вводиться нова величина «частковий світловий потік».

6.1.1 Повний світловий потік

Повний світловий потік є основним параметром джерел світла. Він визначається сукупним потоком джерел світла в тілесному куті 4π ср. Повний світловий потік має позначення Φ або Φ_v , і одиницею його є люмен. Він визначається інтегралом від сили світла джерела по повному тілесному куті

$$\Phi = \int_{\Omega} I \cdot d\Omega, \quad (27)$$

або інтегралом від освітленості, утворюваної джерелом на замкненій явній поверхні A розташований навколо джерела світла

$$\Phi = \int_A E \cdot dA \quad (28)$$

Тому повний світловий потік має містити всі потоки, що утворюються в СВД (в тому числі і в зворотньому напрямку).

6.1.2 Частковий потік СВД

Частковий потік СВД є величиною, яка застосовується у специфічних використаннях СВД. Він визначається як потік, що утворюється СВД і поширюється в певному конусному куті (з

вершиною на гемертичній осі СВД) і має основу (кругову апертуру діаметром 50 мм) на відстані вимірювань від купола СВД.

Це визначення ілюструє **рисунок 8**

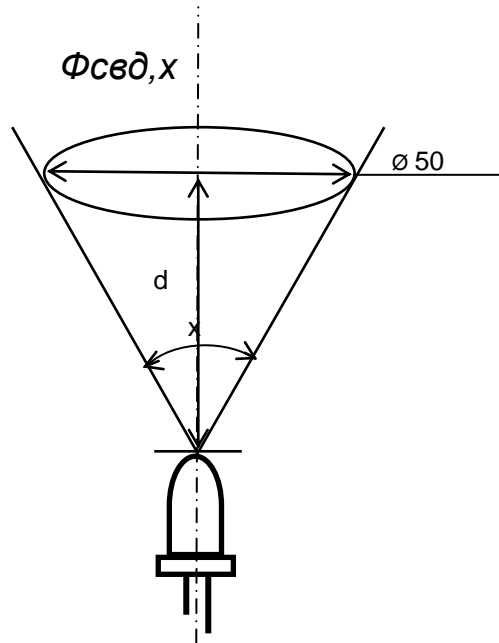


Рисунок 8 – Частковий потік СВД

Відстань d для потрібного кута x визначається формулою

$$d = \frac{25}{\operatorname{tg} \frac{x}{2}} \text{ мм}, \quad (29)$$

де $x^\circ \leq x \leq 180^\circ$.

Це величина має позначення $\Phi_{\text{СВД},x}$ зі значенням конусного кута x в градусах. Наприклад, $\Phi_{\text{СВД},180}$ відповідає потоку у фронтальній півсфері (передній потік), в разі якого $d=0$. Будь-які частки (повного) потоку, що випромінюється поза показаним конусним кутом ігноруються.

Базовою точкою СВД є вершина його купола, не тому що вона є його ефективним світловим центром, а тому, що її місце розташування можна легко визначити у СВД, в той час як розташування світлового центра є визначається складно, а інколи взагалі невідоме. Це є важливим для простоти вимірювань та відтворюваності їх результатів.

Для цього також встановлено єдине значення діаметра апертур (50 мм) (Результати вимірювань будуть різними за різних розмірів апертур використовуваних з однаковими конусними кутами). Це не є реальним частковим потоком. Визначеним у «далекому полі», скоріше він називається частковим потоком СВД, - величиною, яка може використовуватися в практичних випробуваннях СВД з простим оснащенням та відтворюваністю результатів.

Рекомендується, щоб поняття повного світлового потоку (пункт 6.1.1) застосовувалося настільки, наскільки можливо. Поняття часткового потоку СВД застосовується лише тоді, коли поняття повного потоку не достатньо у певних використаннях СВД. В разі застосування часткового потоку СВД рекомендується, щоб за можливості використовувалися кути: 40° ; 60° ; 90° та 120° . Використання багатьох різних кутів призведе до складностей у порівнянні результатів. Крім того, перевага має надаватися куту, який вибирається так, щоб більша частина світлового пучка від СВД містилася в цьому тілесному куті. Такі умови роблять вимірювання менш чутливими до похибок в орієнтуванні СВД та у визначеннях відстаней вимірювань і діаметрів апертур.

У виробничому середовищі частковий потік СВД може вимірюватися за умов, модифікованих геометрій (менших діаметрів і відстаней). В таких випадках результати вимірювань можуть порівнюватися з результатами, одержаними за встановлених умов (з діаметром апертури 50 мм) або коригуватися згідно з результатами останніх на основі кореляції результатів за умов двох геометрій стосовно діодів певних типів з урахуванням додаткових невизначеностей.

6.2 Методи вимірювань світлових потоків

Для вимірювань повних світлових потоків використовуються гоніофотометри або інтегруючі кулі. Останні зазвичай використовуються і для вимірювань часткових світлових потоків.

6.2.1 Метод з гоніофотометром

6.2.1.1 Вимірювання повного світлового потоку

Гоніофотометр є пристроєм для вимірювань сили світла джерела в багатьох різних напрямках від нього (або освітленостей, утворених джерелом на певних відстанях). У порівнянні з методом з кулею метод з гоніофотометром є теоретично (але тільки теоретично), позбавленим похибок, пов'язаних з різницями в розподілах інтенсивності випробуваних джерел світла. Він не потребує еталонів світлового потоку, однак потребує більше часу на вимірювання параметра кожного зразка.

Теоретично повний світловий потік Φ джерела пов'язано з функцією $I(\vartheta, \varphi)$ розподілу сили світла формулою

$$\Phi = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} I(\varphi, \vartheta) \cdot \sin \vartheta \cdot d\vartheta \cdot d\varphi, \quad (30)$$

а з функцією $E(\vartheta, \varphi)$ розподілу освітленості по уявній сферичній поверхні радіусом r (в метрах) – формулою

$$\Phi = r^2 \cdot \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} E(\vartheta, \varphi) \cdot \sin \vartheta \cdot d\vartheta \cdot d\varphi \quad (31)$$

Але на практиці не можливо визначити функції $I(\vartheta, \varphi)$ та $E(\vartheta, \varphi)$ залежностей сили світла та освітленості від напрямків, тобто від кутів ϑ та φ . Крім того не можливо знайти значення I та/або E в кожній

точці (ϑ, φ) , можна лише виміряти їх середні значення відповідно в певному напрямку та на певній відстані. Тому інтегрування в формулах (30) і (31) має бути замінено підсумовуванням значень світлових потоків (через окремі зони уявної сфери, радіус якої дорівнює відстані d вимірювань), обчислених за знайденими вимірюваннями середніми в цих зонах значеннями I або E . Зони вимірювань вирізаються на поверхні розгляданої уявної сфери поясовими та чотиригранними тілесними кутами.

Порядок побудови поясових і чотиригранних тілесних кутів описано в додатку НА 1. Там же надаються таблиці значення поясових тілесних кутів Ω_i і значення $\Delta\vartheta$ 2° ; 5° ; та 10° і дається вказівка щодо знаходжень чотиригранних кутів Ω_{ik} .

Якщо за допомогою попередніх замірів виявлено, що просторовий розподіл випробуваного СВД має кругову симетрію, тобто значення I_i сили світла або E_i опроміненості можна вважати сталим в межах кожного пояса, що вирізається на уявній сфері поясовим тілесним кутом Ω_i , і приймач гоніофотометра відградує по силі світла I , після її вимірювань в напрямках кожного поясу, що визначаються кутами V_i , шукане значення повного світлового потоку може бути обчислено за допомогою формули

$$\Phi_x = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \Omega_i \quad (30a)$$

де Ω_i – значення i -того поясового тілесного кута з відповідної таблиці додатку НА 1;

I_i – значення сили світла в напрямку, визначеному кутом ϑ_i .

Підсумовування ведеться по номерах i поясових тілесних кутів.

Число n має значення 90; 36 та 18 відповідно за значень $\Delta\vartheta$ 2°; 5° та 10°, якщо СВД випромінює в межах усього діапазону кутів ϑ [0; 180°].

Якщо ж фотометричну головку гоніометра відградувано по освітленості E , шукане значення повного світлового потоку, може бути обчислено за допомогою формули

$$\Phi_x = d^2 \cdot \sum_{i=1}^n E_i \cdot \Omega_i \quad (31a)$$

де E_i – значення освітленості на поверхні i -того пояса;

d – радіус уявної сфери або відстань від світлового центра СВД до апертури фотометричної головки (відстань вимірювань).

Якщо ж просторовий розподіл сили світла СВД (його фотометричне тіло) не має кругової симетрії, тобто сила світла в напрямку ϑ_i певного пояса уявної сфери (або освітленість на цьому поясі) розподіляється нерівномірно, шукане значення повного світлового потоку СВД має обчислюватися за допомогою формули

$$\Phi_x = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m I_{ik} \cdot \Omega_{ik} \quad (30b)$$

якщо гоніофотометр градуовано по силі світла або за допомогою формули

$$\Phi_x = d^2 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m I_{ik} \cdot \Omega_{ik} \quad (31b)$$

якщо градування здійснювалося по освітленості.

Підсумовування по k означає обчислення значень потоків Φ_i , які зосереджуються в кожному поясовому тілесному куті Ω_i (тобто проходять крізь кожний пояс $A_i A_{i+1}$ (див. рис. НА1) на уявній сфері, в напрямках, які визначаються кутами ϑ_i), підсумовуванням значень

потоків Φ_{ik} , які зосереджуються в кожному чотирикутному тілесному куті Ω_{ik} (тобто проходять крізь кожний k -тий криволінійний чотирикутник KLMN на поверхні уявної сфери).

Число m має значення 180; 72 та 36 відповідно за значень $\Delta\varphi$ 2° ; 5° і 10° .

Підсумовування по i (як і по формулах (30а) та (31а)) означає підсумовування потоків Φ_i , що зосереджуються в поясових тілесних кутах.

У формулі (31b), як і у формулі (31b) d – радіус уявної сфери або радіус обертання фотометра (відстань вимірювань).

Але реальні СВД ніколи не випромінюються в межах усього діапазону кутів ϑ $[0^\circ; 180^\circ]$. В прикладах наданих на рис. 1 діапазони кутів ϑ становлять стосовно:

- випадку а) – $[0^\circ; 90^\circ]$;
- випадку б) – $[0^\circ; 40^\circ]$;
- випадку с) – $[0^\circ; 20^\circ]$.

і лише у випадку с) верхня межа діапазону кутів ϑ перебільшує 90° .

Тож за значень $\Delta\vartheta$ 2° ; 5° та 10° число n відповідно повинно мати значення:

- у випадку а): 45; 18 та 9;
- у випадку б): 20; 8 та 4;
- у випадку с): 10, 4 та 2;
- у випадку d) значення, більше, ніж 45; 18 та 9.

Що ж стосується числа m , то в зв'язку з тим, що через зменшення довжин кіл поясів уявної сфери під час пересування по ній від її екватора до полюсів зменшуються площі криволінійних чотирикутників KLMN, а за $i=1$ чотирикутники взагалі вироджуються в трикутники. Це вимушує за малих значень i (зона поблизу осі Z , тобто оптичної осі СВД) використовувати менші значення m в підсумовуваннях по k в формулах (30в) та (31в).

Вибір цих значень залежить від характеру нерівномірності просторового розподілу, відстані d вимірювань, радіуса апертури фотометричної головки гоніофотометра тощо.

Відстані d вимірювань (радіуси обертання фотометра) мають встановлюватися достатніми (зазвичай 300 мм і більше) для того, щоб можна було нехтувати похибками у вимірюваннях цих відстаней (в тому числі, похибками у розташуванні базової площини фотометра) (в разі застосувань формул 31a або 31b) або похибками в орієнтуванні СВД (в разі застосувань формул 30a або 30b). Якщо гоніофотометр призначено також для вимірювань середніх інтенсивностей СВД відстань r може вибиратися, як за умов А та В (310 мм або 100 мм). Слід зазначити, що за таких умов малою є кутова розпізнавальна здатність (через відносно великі тілесні кути, в яких вимірюються потоки).

Фотометрична головка гоніофотометра стосовно спектральної чутливості має відповідати вимогам підрозділу 3.3. Градування фотометричної головки (та корегування щодо різниці в спектрах) мають проводитися згідно з рекомендаціями стосовно вимірювань середньої інтенсивності СВД (розділ 5). Прилади має бути захищено від стороннього світла та світла, відбиваного від інших приладів.

Діапазон розгляданих кутів має охоплювати весь тілесний кут в якому випромінює СВД. Слід зазначити, що деякі СВД мають суттєві випромінення в зворотньому напрямку, навіть в разі вузких пучків у передньому напрямку. Таке зворотнє випромінення має враховуватися до складу повного світлового потоку. Також слід зауважити, що деякі гоніофотометри можуть повертатися тільки в межах фронтальної півсфери; в таких випадках зворотнє випромінення ігнорується, що призводить до суттєвої похибки у вимірюваннях повного світлового потоку.

6.2.2 Метод з інтегруючою кулею

6.2.2.1 Вимірювання повних світлових потоків

Найпростішим способом вимірювань світлових потоків СВД є спосіб з використанням інтегруючого кульового фотометра. Він є пристроєм оптичного інтегрування багаторазового відбиваного світлового потоку таким чином, що його вимірювання можуть бути достатньо швидкими і можуть здійснюватися за допомогою однієї зафіксованої фотометричної головки. Випробний інтегруючий кульовий фотометр градується по еталону повного світлового потоку. Здійснюється порівняння потоків випробуваного та еталонного джерел світла, які мають подібні просторові та спектральні розподіли. Тому методика потребує еталонних СВД, градуйованих за світловими потоками. В порівнянні з гоніфотометричним методом вимірювання проводяться швидко, але можливі похибки, якщо просторові розподіли сил світла випробувального та еталонного СВД не є подібними. Цей вид похибок не можливо скоригувати, тому вони мають мінімізуватися використанням кулі з відповідною геометрією та випробувальних і еталонних СВД подібних видів.

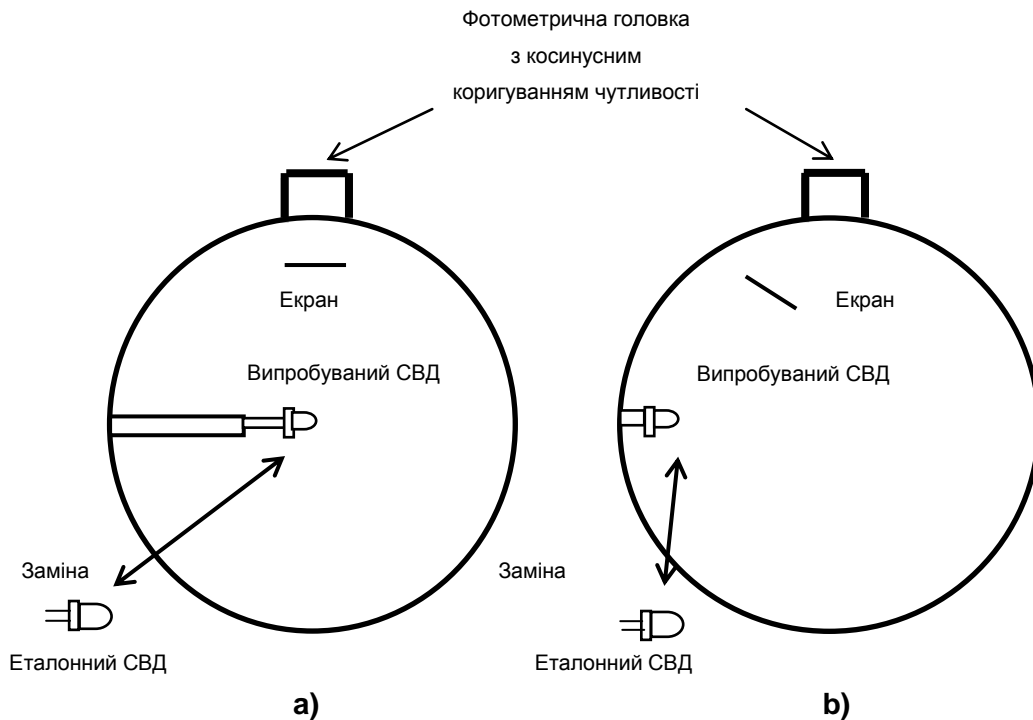


Рисунок 9 - Рекомендовані геометрії кулі для вимірювань певних світлових потоків: а) СВД будь-якого виду; б) СВД без спрямованих назад вимірювань.

На рисунках 9 показано рекомендовані геометрії куль для вимірювань повних світлових потоків СВД. Геометрія а) рекомендується для всіх видів СВД, в тому числі – для тих, що мають вузькі профілі пучків, і для тих, що мають широкі та, навіть, частково спрямовані назад випромінення. Ця геометрія кулі забезпечує рівномірний розподіл чутливості по внутрішній поверхні кулі та найменш чутлива до різниць в розподілах сил світла СВД. За старих методик випробуваний СВД вмонтувався на стінці кулі, що взагалі не рекомендується, коли вимірюється повний світловий потік, через втрати спрямованого назад випромінювання. А геометрія б) є придатною в разі СВД, які не мають спрямованого назад випромінювання.

Ця геометрія має перевагу, коли випробуваний СВД зручніше монтувати на стінці кулі. Проте, слід зазначити що СВД на епоксидній основі можуть мати суттєві частки зворотнього випромінення, тому має використовуватися геометрія а). Потужні СВД, які мають великі радіатори і не мають зворотнього випромінення, можуть випробовуватися за геометрії б), коли тільки головна частина СВД уводиться в кулю, за великий радіатор залишається поза нею.

За будь-якої геометрії найменшим рекомендованим значенням діаметра кулі є 20 см. Зазвичай для випробувань СВД використовуються кулі з діаметрами від 20 до 50 см. В разі більшої кулі зменшується похибка пов'язана з просторовою нерівномірністю (завдяки відносно меншим), і похибка, пов'язана з різницею в розмірах випробуваного та еталонного СВД, але світловий сигнал також зменшується. Потужні СВД (наприклад, за споживаної потужності більше 1 Вт) можуть випробовуватися в більших кулях (наприклад, двометрових), що використовуються для випробувань традиційних ламп і в яких СВД з радіаторами можуть монтуватися в центрі кулі за геометрії а).

Важливо, щоб еталонні СВД були того самого типу, що і випробувані, не тільки за однаковістю (подібністю) просторових розподілів випромінення, а й з точки зору однаковості їх геометричних розмірів. Похибки, пов'язані з різницями в розмірах еталонних і випробуваних джерел так само як і похибки, пов'язані з різницями в просторових розподілах скорегувати неможливо; їх можна лише мінімізувати збільшенням діаметра кулі, але за рахунок зменшення світлових сигналів на фотоприймач.

Слід надавати перевагу кулям, з коефіцієнтами відбивання внутрішньої поверхні в межах від 0,90 до 0,98 в залежності від розмірів та призначення кулі. Більше значення коефіцієнта відбивання дозволяє одержати більший сигнал і зменшити похибки пов'язані з різницями в розподілах сил світла. Проте, за більших коефіцієнтів відбивання вимірювальна здатність кулі стає чутливішою до різниці в розмірах еталонного та випробуваного джерел (через збільшення кількості відбивань) та довготривалих теплових діянь. Розміри екрана мають бути якомога меншими, але достатніми для захисту фотоприймача від потрапляння прямих випромінень від еталонного та випробуваного СВД великих розмірів.

За будь-якої геометрії – а) чи б), важливо, щоб чутливість фотометричної головки була достатньо косинусною та відповідала $\mathcal{A}(\lambda)$. Вимоги до спектральної чутливості (розділ 3.3) застосовується в цілому до системи (фотометрична головка плюс інтегруюча куля). Див. підпункт 6.2.3.3 щодо способів коригування в разі невідповідності спектрів. Якщо таке коригування не здійснюється, має бути пряма заміна (підпункт 6.2.3.1), тобто випробувані СВД мають порівнюватися з еталонними СВД тих самих типів (з майже однаковими) спектральними розподілами. Увага має приділятися випробуванням СВД, які можуть спричинити люмінесценцію в кулі. Похибка може бути

суттєвою, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму в спектрі випромінювання СВД потрапляє у «хвіст» кривої $\mathcal{J}(\lambda)$ (наприклад, сині СВД), а вихід люмінесценції припадає на зелену область, де значення $\mathcal{J}(\lambda)$ є великими; в таких випадках вплив люмінесцентних ефектів на вимірювання повного світлового потоку збільшується.

6.2.2.2 Вимірювання часткових потоків СВД

Для вимірювання часткових потоків СВД рекомендується інтегруючий кульовий фотометр з геометрією зображеною на рисунку 10. Куля має отвір, до якого припасовано прецизійну апертуру (діаметром 50 мм). Базова площина (площина, що проходить через призматичні краї) має розташовуватися на одному рівні з внутрішньою поверхнею кулі (так щоб в апертуру вписувалися повні конічні кути X в діапазоні від 0° до 180°). Площа апертури має бути виміряна зі сталою невизначеністю, оскільки це безпосередньо впливає на невизначеність вимірювань часткового потоку СВД. Рекомендується, щоб куля мала діаметр не менше 20 см. Перевага має надаватися покриттям внутрішньої поверхні кулі з високими відбиванностями (95 %–98 %) для збільшення вхідного сигналу та кращої просторової однорідності чутливості кулі, оскільки ефективність відбивань в кулі дещо зменшується через наявність великого отвору. Відстань d (від купола СВД до базової площини в апертурі) визначається стосовно розгляданого повного конусного кута X згідно з формулою 29.

Екран розташовується на середині відстані між отвором та фотометричною головкою, і він має бути за можливості малим, але достатнім, щоб затінити фотометр (світлочутливу поверхню) в межах усього отвору апертури.

Простір навколо випробуваного СВД та отвору має бути захищений від сторонніх випромінень, і має звертатися увага на те, щоб тільки пряме світло від випробуваного СВД могло потрапляти в

отвір, без сторонніх випромінень та/або випромінень, відбиваних від інших об'єктів навколо СВД.

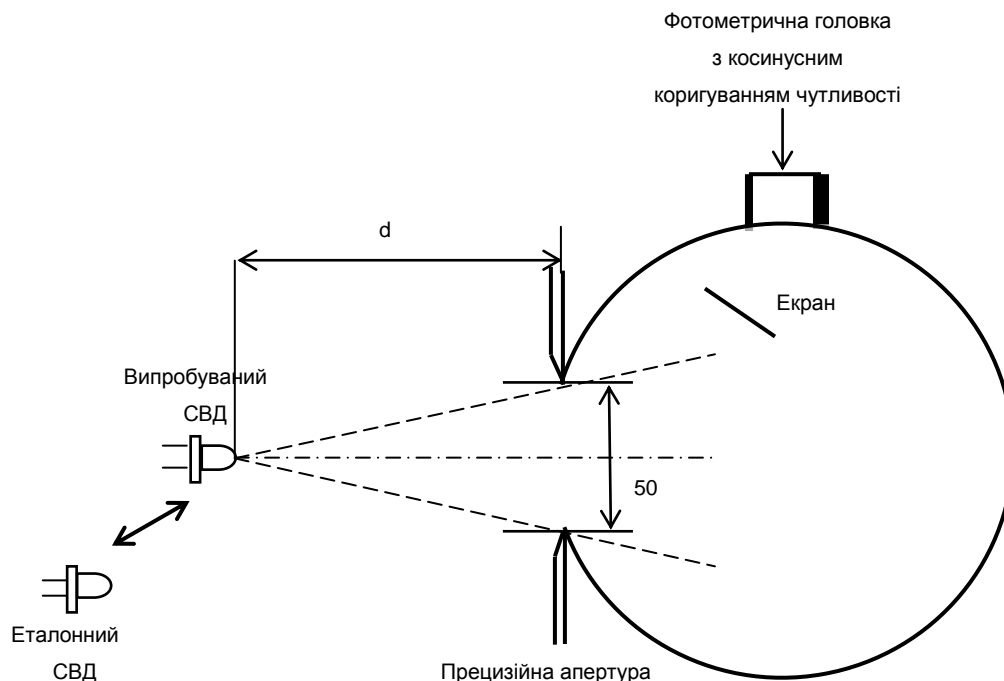


Рисунок 10 – Геометрія кулі, рекомендована для вимірювань часткових потоків СВД.

Значення параметрів випробуваних СВД знаходяться порівняннями зі значеннями параметрів еталонних СВД тих самих типів. Рекомендується використовувати еталонні СВД з подібними розподілами інтенсивності, оскільки це усуває або зменшує різні похибки пов'язані, наприклад, зі сторонніми випроміненнями, вимірюванням відстані d та площі A апертури. Стосовно використання еталонних СВД та коригувань через різницю в спектра див. пункт 6.2.3.

6.2.3. Способи градування кулі та подальші коригування

В разі випробувань СВД певного кольору (спектрального розподілу) інтегруючий кульовий фотометр градується з використанням еталонного СВД такого самого кольору (або подібного спектрального розподілу). В разі СВД іншого кольору фотометр

градуюється за еталонним СВД цього іншого кольору. За такого методу прямого порівняння (замінювання) корегування через різницю в спектрах є непотрібним, а випробування є найпростішим. Проте в разі вимірювань параметрів СВД великої кількості типів потрібна велика кількість еталонних СВД (крім того, навіть в разі прямого замінювання буде ненульова похибка, пов'язана з маленькою різницею в спектральних розподілах еталонного та випробуваного СВД, яка має оцінюватися в складі невизначеності вимірювань).

Порівняння з кількома еталонами

В багатьох випадках виникає потреба випробувань СВД такої великої кількості типів (колірностей), що неможливо накопичити відповідну кількість еталонних СВД. В таких випадках рекомендується спосіб, описаний в підпункті 6.2.3.2. А ще рекомендується, щоб світлові потоки декількох СВД різних кольорів (повірених в компетентній лабораторії) було виміряно в умовах користувача і результати було порівняно за невизначеностями вимірювань стосовно СВД кожного кольору.

6.2.3.2 Застосування коригувань, пов'язаних з різницею в спектрах.

Якщо відома функція відносної спектральної чутливості кульового інтегруючого фотометра, він градується за еталонними СВД певного кольору (зелений, білий тощо); після цього вимірюється потік СВД будь – якого кольору з застосуванням коригувань пов'язаних з різницею в спектрах.

В разі відмінності функції $S_{\text{сф}}(\lambda)$ відносної спектральної чутливості фотометра від функції $\mathcal{A}(\lambda)$ і різниці в спектрах випробуваного та еталонного СВД може виникнути необхідність коригування, пов'язаного з селективністю відбивання випромінень внутрішньою поверхнею кулі, тобто спектральної залежності

коефіцієнта $\rho(\lambda)$ цієї поверхні. В такому випадку коефіцієнт F коригування обчислюється за допомогою формули 27 з заміною в ній $S_{\text{ед},i}(\lambda)$ на

$$S_{\text{вд},i} = S'_{\text{вд},i} \cdot T_{\text{вд},i}, \quad (32)$$

де $S'_{\text{ед},i}$ – значення функції відносної спектральної чутливості головки інтегруючого кульового фотометра;

$T_{\text{ед},i}$ - значення функції відносної спектральної пропусканості інтегруючої кулі на інтервалі $\Delta\lambda_i$.

Визначення функції відносної спектральної пропусканості

Сукупність значень функції $T_{\text{ед}}(\lambda)$ відносної спектральної пропусканості інтегруючої кулі може бути визначено в такі способи:

1) У разі вимірювань повного світлового потоку в інтегруючій кулі спочатку за допомогою спектро радіометра знаходяться значення функції $\varphi(\lambda)$ відносної густини спектрального розподілу променевого потоку еталонної лампи, розташованої поза кулею. Вибирається такий напрямок випромінювання лампи, поблизу якого його просторовий розподіл є однорідним. Потім з допомогою того самого спектро радіометра знаходяться значення функції $\varphi'(\lambda)$ відносної густини спектрального розподілу променевого потоку в зоні отвору для приймача, що утворюється лампою в кулі (з екрануванням приймача від потрапляння прямого світла від лампи). Відношення відповідних значень, одержаних під час перебувань лампи в кулі та поза кулею, утворюють сукупність значень $T_{\text{ед}}$, і відносної спектральної пропусканості кулі, які будуть дорівнювати значенням відносного спектрального коефіцієнта відбивання внутрішньої поверхні кулі, тобто

$$T_{\text{вд}}(\lambda) = \rho(\lambda) \quad (33)$$

2) Використовується інтегруюча куля, призначена для вимірювань часткових потоків СВД, в яку вводиться пучок світла від еталонної лампи. Спочатку за допомогою спектро радіометра знаходяться значення функції $\varphi(\lambda)$ відносної густини спектрального

розподілу променевого потоку еталонної лампи (в режимі опромінювання). Потім з допомогою того самого спекторрадіометра знаходяться значення функції $\varphi'(\lambda)$ відносної густини спектрального розподілу променевого потоку в зоні отвору для приймача, що утворюється лампою в кулі (з екрануванням приймача від потрапляння прямого світла від лампи). Відношення відповідних значень, одержаних під час перебувань лампи в кулі та поза кулею, утворюють сукупність значень $T_{\text{ед}}$, і відносної спектральної пропусканості кулі.

Слід зазначити, що ці способи є придатними для усунення похибок в разі селективності відбивання і/або люмінесценції покриття. Лампа розжарювання, що використовується під час вимірювань, має бути достатньо малою в порівнянні з розміром кулі (наприклад, мініатюрна галогенна лампа може бути придатною в сфері діаметром 20 см).

6.2.3.3 Використання спекторрадіометра

Спекторрадіометр може використовуватися як приймач в інтегруючому кульовому фотометрі, і повний світловий потік може вимірюватися без коригувань, пов'язаних з різницею в спектрах, якщо спекторрадіометр налаштовано для знаходження спектрального розподілу абсолютного променевого потоку СВД.

(Див. підпункт 7.4.2.1)

7. СПЕКТРАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ

7.1 Поняття спектрального розподілу

7.1.1 Спектральна густина

Спектральна густина будь-якої електричної величини X_e , що характеризує випромінення визначається похідної від цієї величини по довжині хвилі λ як

$$X_{\lambda}(\lambda) = \frac{dX_e(\lambda)}{d\lambda} \quad (34)$$

$X_{\lambda}(\lambda)$ є функцією густини спектрального розподілу цієї величини. Ця функція показує залежність від довжини хвилі. Одиниця спектральної величини визначається одиницею первісної величини X_e , поділеною на одиницю довжини хвилі λ (метр). Наприклад, розмірністю одиниці сили (інтенсивності) I_e випромінення є $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}$, а розмірністю одиниці густини $I_{\lambda}(\lambda)$ (іноді позначається I_{λ}) є $\text{Вт}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$, що зазвичай перетворюється в $\text{мВт}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{нм}^{-1}$ або $\text{мкВт}\cdot\text{ср}^{-1}\cdot\text{нм}^{-1}$ для забезпечення надання значень в більш зручніших інтервалах чисел.

Примітка. Спектральна густина може також виражатися як функція частоти ν або хвильового числа σ , але функція довжини хвилі зазвичай є сприйнятливою для характеризування спектральних розподілів СВД. Характер визначення спектрального розподілу буде суттєво змінюватися в залежності від використовуваної ширини щілини спектро радіометра. Під час представлення даних щодо спектрального розподілу мають надаватися відомості щодо проведення коригувань пов'язаних з фоновим сигналом (тіньовим струмом) фотоприймача. Ширина щілини не повинна перебільшувати 5 нм.

7.1.2 Абсолютизуючий коефіцієнт і відносна густина спектрального розподілу

СВД утворюють оптичні випромінення в обмежених діапазонах довжин хвиль $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$. Часто буває корисним абсолютизувати функцію густини спектрального розподілу, застосовуючи абсолютизуючий коефіцієнт X_{e0} , узятий на довжині хвилі $\lambda = \lambda_0$ в одиниці густини спектрального розподілу

$$X_{e0} = X_{\lambda}(\lambda = \lambda_0) \quad (35)$$

та функцією $\varphi_x(\lambda)$ відносної густини спектрального розподілу

$$\varphi_x(\lambda) = \frac{X_{\lambda}(\lambda)}{X_{e0}} \quad (36)$$

яка є безрозмірною величиною, але тим не менш асоціюється з геометричним смислом розподілу, що характеризує первісну величину.

З формули (36) функцію (абсолютної) густини спектрального розподілу можна записати як

$$X_{\lambda}(\lambda) = X_{e0} \cdot \varphi_x(\lambda) \quad (37)$$

7.2 Параметри спектральних розподілів

На рисунку 11 показано розташування характерних довжин хвиль, визначення яких надаються в пункті 7.2.1. Характер розподілу є типовим для всіх видів (кольорових) СВД – з нульовими значеннями по країнах діапазону довгих хвиль $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$ та з одним яскраво вираженим максимумом між ними. На рисунку 2 показано типові спектральні розподіли для вибору з різноманітності комерційно доступних на цей час СВД.

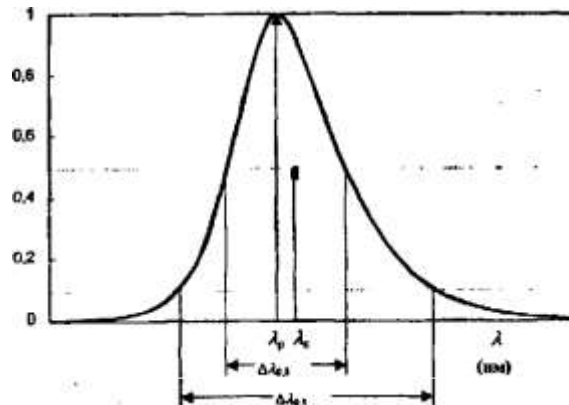


Рисунок 11 – Типовий розподіл відносної спектральної величини, на якому показано розташування характерних довжин хвиль та їх інтервалів.

7.2.1 Довжина хвилі, що відповідає максимуму

Довжина хвилі, яку на рисунку 11 позначено $\lambda_{\text{макс}}$, називається довжиною хвилі, що відповідає максимуму в спектральному розподілі. Функція густини спектрального розподілу зазвичай абсолютизується за цією довжиною хвилі переважніше, ніж за довільно вибраною в перерозподілі з відносним значенням, яке дорівнює одиниці.

7.2.2 Ширина спектральної смуги за половинними рівнями інтенсивності

Ширина $\Delta\lambda_{0,5}$ спектральної смуги за половинними рівнями інтенсивності обчислюється як різниця між довжинами хвиль $\Delta\lambda''_{0,5}$ та,

$\Delta\lambda'_{0,5}$ які перебувають по обидві сторони від $\lambda_{\text{макс}}$ і на яких інтенсивності становлять 50 % максимальної:

$$\Delta\lambda'_{0,5} = \Delta\lambda''_{0,5} - \Delta\lambda'_{0,5} \quad (38)$$

Примітка. В деяких випадках застосовується значення $\Delta\lambda'_{0,1}$ (див. рисунок 11) – ширини між двома довжинами хвиль, на яких інтенсивності становлять 10 % максимальної.

7.2.3 Середня довжина хвилі між половинними рівнями

Довжина хвилі $\lambda_{0,5\text{cp}}$, що розташовується посередині між двома граничними довжинами хвиль $\Delta\lambda'_{0,5}$ та $\Delta\lambda''_{0,5}$ спектральної смуги на яких інтенсивності становлять 50 % встановленого рівня обчислюється за допомогою формули

$$\lambda_{0,5\text{cp}} = \frac{1}{2} (\lambda'_{0,5} + \lambda''_{0,5}) \quad (39)$$

7.2.4 Центровагова довжина хвилі

Довжина хвилі $\lambda_{\text{цв}}$, що (як абсциса) відповідає розташуванню центра ваги "спектрального розподілу" і значення якої обчислюється за допомогою формули

$$\lambda_{\text{цв}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \varphi_{x,i} \cdot \Delta\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_{x,i} \cdot \Delta\lambda_i} \quad (40)$$

Підсумовування проводиться по всіх інтервалах $\Delta\lambda_i$ в межах діапазону довжин хвиль від λ_1 до λ_2 .

Слід зазначити, що на відміну від інших визначених тут характерних довжин хвиль значення центровагових довжин хвиль, обчислювані стосовно різних видів спектральних розподілів типових СВД, можуть сильніше піддаватися впливам малих значень відносних густин розподілів, коли невизначеності зростають через впливи сторонніх випромінень, шумових ефектів і відхилень в підсилювачі.

7.3 Колірні параметри, значення яких знаходяться зі спектральних розподілів

Колір світла, що випромінюється СВД, може бути визначено за допомогою його **координат колірності**, а їхні значення найкраще знаходяться обчислюваннями зі спектрального розподілу інтенсивності. Два альтернативні параметри можуть також іноді застосовуватися для характеризування однокольорових СВД: це – **домінуюча довжина хвилі** та **чистота** (колірного стимулу), які не можуть застосовуватися для білих СВД. Вони можуть застосовуватися для забезпечення кількісного представлення відтінків та **насиченості** кольору і можуть обчислюватися через координати колірності так, як пояснюється нижче. Рисунок 12 ілюструє поняття «домінуюча довжина хвилі» та «чистота збудження». Подальшу інформацію щодо понять колірності та обчислень її параметрів див. [5]. Білі СВД характеризуються їх **корельованою колірною температурою**.

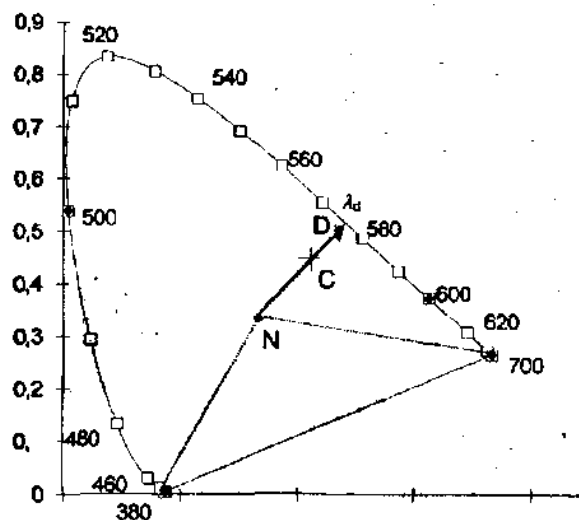


Рисунок 12 – Колірний графік СІЕ 1931г, на якому показано точки та відрізки для обчислень значень домінуючої довжини хвилі та чистоти.

7.3.1 Домінуюча частина хвилі

Значення λ_d домінуючої довжини хвилі **колірного стимулу** знаходиться таким чином:

Стосовно розгляданого колірною стимулу визначається довжина хвилі **монохроматичного стимулу** для **адитивного мішання** в належних пропорціях з установленим **ахроматичним стимулом**.

Базовим ахроматичним стимулом для характеризувати СВД має бути стимул з екіенергетичним спектром, тобто таким стимул, функція густини спектрального розподілу якого (від довжини хвилі) є константа (який іноді називається стандартним джерелом (ілюмінантом) E) і який має координати колірності $x_e=0,3333$ та $y_e=0,3333$.

7.3.2 Чистота (колірного струму)

Для характеризувати чистоти вимірювання СВД застосовується параметр p_e —умовна чистота кольору. Його значення знаходиться таким чином:

Обчислюється відношення NC/ND двох колінеарних відрізків на **колірному графіку** стандартної колориметричної системи СІЕ 1931р. (графік 1964р. дає більш різні значення в разі малих насиченостей); перший відрізок – відрізок між точкою С, яка представляє розгляданий колірний стимул і точкою N, яка представляє встановлений ахроматичний стимул; другий відрізок – між точкою N і точкою D на лінії спектральних кольорностей, що відповідає значенню домінуючої довжини хвилі розгляданого стимулу.

Визначення приводить до таких виразів:

$$P_{ey} = \frac{y-y_n}{y_e-y_n} \text{ та } P_{ex} = \frac{x-x_n}{x_e-x_n} \quad (41)$$

де: $(x;y)$, $(x_n;y_n)$ та $(x_e;y_e)$ – колірні координати відносно точок С,N,D.

Примітка. Значення умовної чистоти кольору дорівнює одиниці, якщо точка, що відповідає колірності випробуваного СВД перебуває на лінії спектральних колірностей і дорівнює нулю, якщо вона має ті самі колірні координати, що і встановлений ахроматичний стимул.

7.4 Спектральні вимірювання параметрів СВД

Загальні настанови щодо спектральних вимірювань параметрів джерел світла надаються в [15]. В цьому розділі розглядаються вимоги до спектрорадіометрів спеціально призначених для вимірювань параметрів СВД. Параметри спектральних розподілів і колірні параметри СВД можуть вимірюватися за допомогою спектрорадіометрів у чотирьох різних режимах, а саме в режимах вимірювань:

- 1) опроміненості;
- 2) повного потоку;
- 3) часткового потоку;
- 4) енергетичної яскравості.

В режимі вимірювань опроміненості знаходяться значення параметрів спектрального розподілу та колірних параметрів СВД в одному напрямку випромінювання, в той час як в режимі вимірювань повного потоку знаходяться їх середні значення за всіма напрямками. Режим вимірювань часткового потоку займає середнє положення. В режимі вимірювань енергетичної яскравості значення функції спектральної яскравості з використанням у фотометрії оптики формування зображень. Режим вимірювань опроміненості може застосовуватися для більшості одноколірних СВД, які мають рівномірні просторові розподіли кольору. Білим СВД властиво мати нерівномірні просторові розподіли кольорів, тому в таких випадках рекомендуються режими вимірювань повного або часткового потоку для знаходження усереднених колірних параметрів.

7.4.1 Режим вимірювань опроміненості

Вимірювання проводяться в межах малого тілесного кута в променевому потоці від випробуваного СВД, що поширюється в одному напрямку. На рисунку 13 показано деякі приклади вхідної геометрії стосовно пристроїв режиму вимірювань опроміненості.

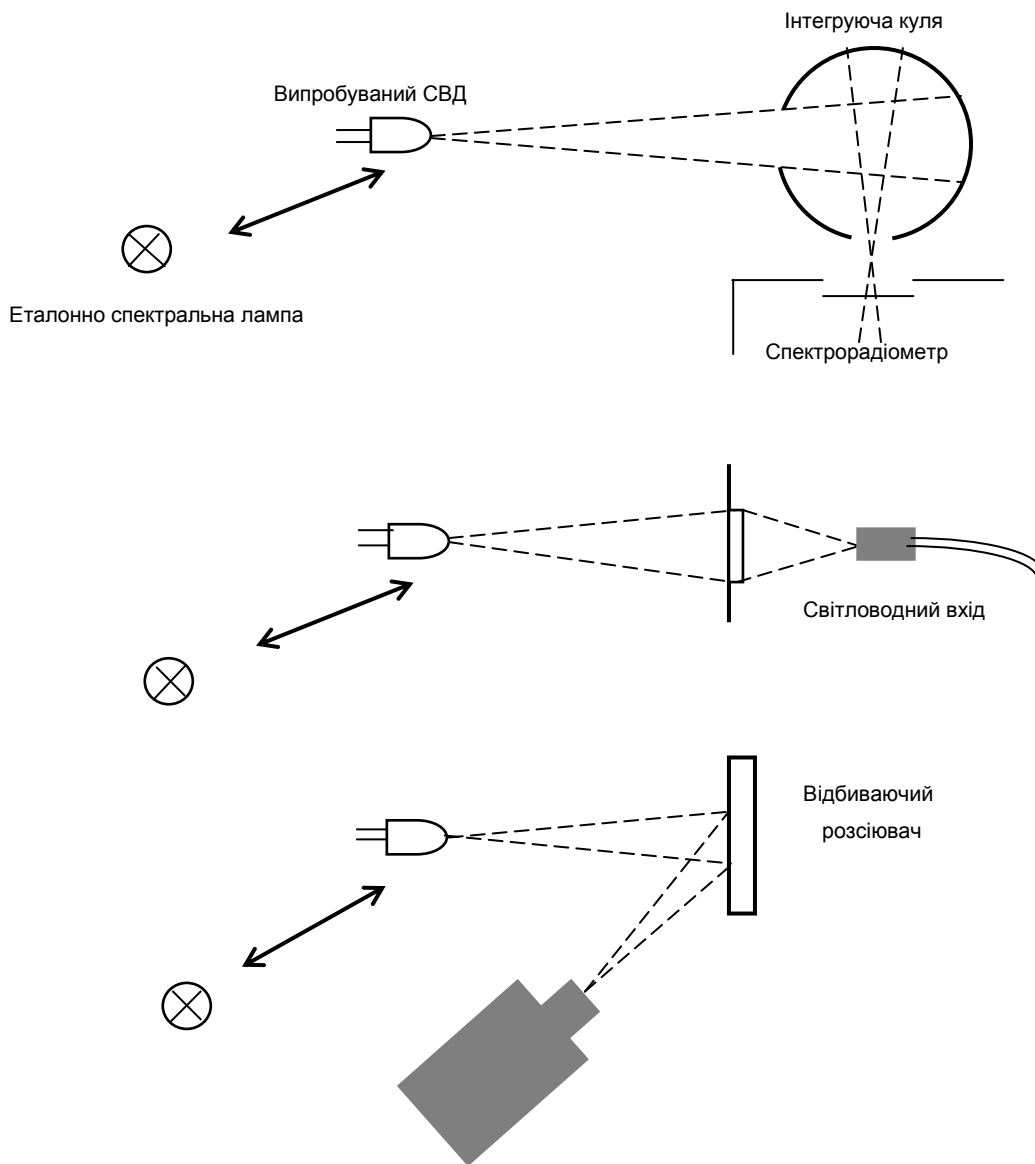


Рисунок 13 – Приклади вхідних геометрій спектрорадіометра в режимі вимірювань опроміненості.

Спектрорадіометр градується за допомогою еталонної спектральної лампи (зазвичай, кварцевої вольфрамівно-галогенної). Важливо, щоб випромінення від еталонної лампи та СВД вводилися в спектрорадіометр (вхідна щілина або світловод) точно з однаковими просторовими та кутовими розподілами та за однакових умов поляризації. (Слід зазначити, що випромінення вольфрамівних ламп є декілька поляризованими). Для досягнення цього, як вхідна оптика необхідні або мала інтегруюча куля (наприклад, діаметром 50 мм), або

розсіювач. Така вхідна оптика має забезпечувати просторову та кутову рівномірності освітлення дисперсійного пристрою незалежно від виду джерела та розподілу інтенсивності його випромінення.

Тому СВД і еталонна лампа можуть мати різницю в розмірах і можуть розташовуватися в різних положеннях щодо однаковості рівнів сигналів.

Серед прикладів, наведених на рисунку 13 використання інтегруючої кулі (без обмежень геометрії показаної на рисунку) є найбільш рекомендованим стосовно будь-якого спектро радіометра завдяки найвищій чутливості. Якщо висока чутливість не потрібне може використовуватися відбиваючий розсіювач. В разі використання розсіювача (особливо, якщо разом зі світлодіодною оптикою) слід обережно ставитися до просторової нерівномірності опромінювальної чутливості поверхні розсіювача. Він може бути непридатним для випромінювань середніх сил світла СВД, якщо просторова однорідність чутливості є недостатньою (див. підрозділ 3.2). Розсіювачі з недостатньою просторовою чутливістю може використовуватися тільки тоді, коли він рівномірно освітлюється випробуваним джерелом. Використання вхідної світлодіодної оптики без розсіювача не повинно практикуватися навіть для вимірювань параметрів однокольорових СВД, оскільки вимірювання будуть чутливими до кутових розмірів пучків, а тому і до розмірів джерел. Для вимірювань кольорних параметрів типових СВД значення пучків мають вибиратися в межах $(10 \pm 5)^\circ$ С або менші. Якщо рівні сигналів є достатніми рекомендується використовувати геометрії за умов А або В СІЕ (див. підрозділ 4.3). Для вимірювань середніх сил світла СВД розміри апертур мають вибиратися такими, що відповідають геометрії за умов А або В СІЕ .

7.4.1.1 Вимірювання середніх сил світла СВД

Якщо спектро радіометр у режимі вимірювань освітленості налагоджено на геометрії за умов А або В СІЕ і відградуєвано за

абсолютними значеннями густини спектрального розподілу опроміненості, шукані значення параметрів СВД можуть виражатися через значення функції $E(\lambda)$ спектральної опроміненості (яка вимірюється у $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{нм}^{-1}$). Через них і значення відстані d (в метрах) від місце розташування СВД (100 мм або 316 мм) значення $I_{\text{СВД}}$ середньої сили світла СВД може бути знайдено за допомогою формули:

$$I_{\text{СВД}} = d^2 \cdot K_{\text{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n E_i \cdot V_i \cdot \Delta\lambda_i, \quad (42)$$

де $K_{\text{макс}}=683 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$

В разі застосування цього методу, результати може бути перевірено вимірюваннями параметрів еталонних СВД різних кольорів. Якщо одержані значення перебувають в межах установлених невизначеностей вони приймаються без коригувань. Відхилення, більші за сумарних невизначеностей з коефіцієнтом охоплення $k=2$, можуть вважатися такими, що не відповідають запасам невизначеностей і мають бути проаналізовані (див. [16]) і за бажанням може використовуватися тільки відносне спектральне градування, а шкала абсолютних значень може надаватися за еталонними СВД.

Вимірюються (просторово) усереднені параметри спектрального розподілу випробуваного СВД. Цей режим зазвичай використовується для вимірювань параметрів спектральних розподілів і колірних параметрів розрядних ламп загального освітлення, оскільки вони мають просторово нерівномірні розподіли кольорів. В цьому режимі в разі градування в абсолютних одиницях, знаходяться значення густини спектрального розподілу повного променевого потоку джерела (у $\text{Вт}\cdot\text{нм}^{-1}$). Приклад геометрії для вимірювань повних потоків показано на рисунку 14. Куля має ту саму геометрію, що й куля для вимірювань повних світлових потоків, показану на рисунку 9а) із заміною фотометра на спектро радіометр. Еталонний СВД також замінено еталонною лампою. Спектральні складові променевого потоку

інтегруються в повному тілесному куті 4π ср. Така система (спектрорадіометр з кулею) градується за значеннями густини спектрального розподілу променевого потоку еталонної (зазвичай, вольфрамової) лампи.

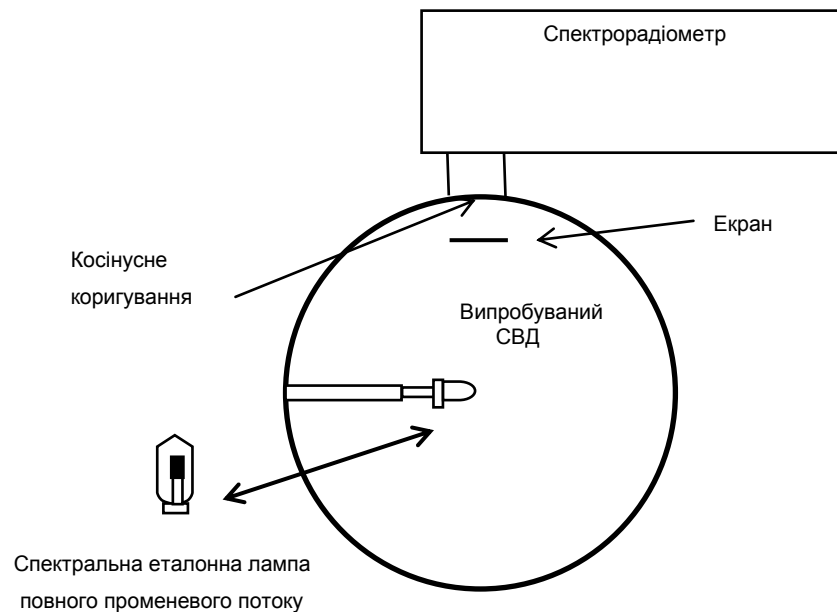


Рисунок 14 – Приклад геометрії спектрорадіометра в режимі вимірювань повного потоку

7.4.2 Вимірювання повних світлових потоків

Якщо спектрорадіометр у режимі вимірювань повного потоку відградується за абсолютними значеннями густини спектрального розподілу повного променевого потоку, шукані значення параметрів випробуваних СВД можуть виражатися через значення функції $\Phi(\lambda)$ повного спектрального променевого потоку (яка вимірюється у $\text{Вт}\cdot\text{лм}^{-1}$). Через них значення повного світлового потоку може бути знайдено за допомогою формули

$$\Phi_v = K_{\text{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot V_i \cdot \Delta\lambda_i \quad (43)$$

де $K_{\text{макс}} = 683 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$

В разі застосування цього методу, результати може бути перевірено вимірюваннями параметрів еталонних СВД різних кольорів. Якщо одержані значення перебувають в межах установлених невизначеностей вони приймаються без коригувань. Відхилення,

більші за сумарних невизначеностей з коефіцієнтом охоплення $k=2$, можуть вважатися такими, що не відповідають записам невизначеностей і мають бути проаналізовані і за бажанням може використовуватися тільки відносно спектральне градування, а шкала абсолютних значень може надаватися за еталонними СВД. Взагалі, як основна процедура має проводитися градування, яке приводить до найменших невизначеностей.

7.4.3 Режим вимірювань часткового потоку

Спектрорадіометр може також використовуватися в режимі вимірювань часткового потоку. На рисунку 15 наведено приклад такої геометрії.

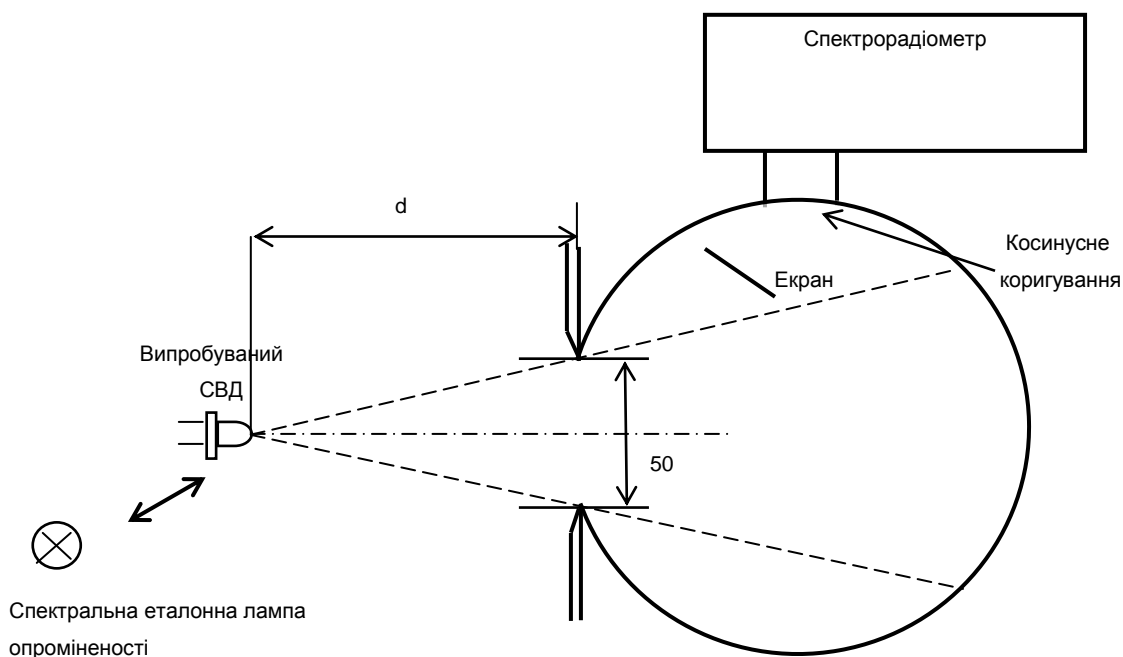


Рисунок 15 – Приклад геометрії спектрорадіометра в режимі вимірювань часткового потоку.

Це така сама геометрія, що й геометрія кулі для вимірювань часткових світлових потоків СВД (рисунок 10) із заміною головки фотометра спектрорадіометром. Такі рекомендації щодо конструкції кулі, як надані в підпункті 6.2.2.2, застосовуються лише тоді, коли не є критичними вимоги до апертури і коли за допомогою цього пристрою

знаходяться лише відносні значення параметрів спектральних розподілів.

Система інтегруючої кулі зі спектро радіометром може градуватися (за спектром) за допомогою еталонної лампи спектральної освітленості. Робоча еталонна лампа розташовується поза кулею на тій самій відстані, з якої проводилось градування спектральної освітленості.

Еталонні лампи зазвичай градуються на відстанях від 50 мм до 70 мм.

Якщо значення (в метрах) площа A апертури є відомим, функція $\Phi_{зос}(\lambda)$ (у $\text{Вт}\cdot\text{нм}^{-1}$) спектральної густини променевого потоку, що вводиться в кулю виражається через функції $E(\lambda)$ спектральної густини опроміненості (яка вимірюється у $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{нм}^{-1}$) за допомогою формули

$$\Phi_{зос}(\lambda) = k_a \cdot A \cdot E(\lambda) \quad (44)$$

Де k_a – коефіцієнт коригування опроміненості, усередненої по отвору в кулі стосовно малої площі, в межах якої опроміненість градувалася по лампі.

Еталонні лампи спектральної опроміненості зазвичай градуються за значно менших кутів пучків (а тому й менших площ). Значення k_a може бути знайдено за допомогою побудови просторової діаграми розподілу освітленості, утворюваної лампою в межах площі, що відповідає отвору в кулі. В разі вимірювань параметрів тільки відносного спектрального розподілу (наприклад, колірних параметрів) параметрами k_a та A можна практично нехтувати.

7.4.3.1 Вимірювання часткових світлових потоків СВД

Якщо спектро радіометр в режимі вимірювань часткового потоку відградувано за абсолютними значеннями густини спектрального розподілу променевого потоку $\Phi_{зос}(\lambda)$, шукані значення параметрів випробуваних СВД можуть виражатися через значення функції

$\Phi_{e,СВД,x}(\lambda)$ (яка вимірюється у $\text{Вт}\cdot\text{нм}^{-1}$); через них значення часткового світлового потоку СВД (в люменах) може бути знайдено за допомогою формули

$$\Phi_{\text{СВД},x} = K_{\text{макс}} \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_{e,\text{СВД},x,i} \cdot V_i \cdot \Delta\lambda_i, \quad (45)$$

де $K_{\text{макс}} = 683 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$

В разі застосування цього методу, результати може бути перевірено вимірюваннями параметрів еталонних СВД різних кольорів. Якщо одержані значення перебувають в межах установлених невизначеностей вони приймаються без коригувань. Відхилення, більші за сумарних невизначеностей з коефіцієнтом охоплення $k=2$, можуть вважатися такими, що не відповідають записам невизначеностей і мають бути проаналізовані і за бажанням може використовуватися тільки відносне спектральне градуювання, а шкала абсолютних значень може надаватися за еталонними СВД. Взагалі, як основна процедура має проводитися градуювання, яке приводить до найменших невизначеностей.

7.4.4 Узгодження між смугою пропускання та інтервалом вимірювань

Під час проведення спектральних вимірювань можуть виникати похибки, пов'язані як зі смугою пропускання спектро радіометра, так і з розміром інтервалу вимірювань (див. [14]). Такі похибки є суттєвими в разі СВД з вузькоспрямованими випроміненнями. Щілина спектро радіометра має властивість розширювати вимірювальний відрізок спектра, що призводить до похибок у знаходженні значень колірних параметрів. Наприклад, смуга пропускання в 10 нм спричинятиме похибку в мінус 0,003 в координатах колірності (u' ; v') в разі червоних та білих СВД і мінус 0,002 – в разі зелених. Такі похибки, обумовлені щілиною спектро радіометра є пропорційними

квадрату її збільшення. В разі смуги пропускання в 5 нм похибка в координатах (u' ; v') буде меншою за 0,001 у СВД будь-якого кольору. В практичних вимірюваннях параметрів СВД смуга пропускання в 5 нм є прийнятною та рекомендованою. Смуги пропускання більші, ніж 5 нм, зазвичай не рекомендуються в разі вимірювань параметрів СВД, але могли б використовуватися з відповідними коригуваннями, пов'язаних зі смугами пропускання (див. підпункт 7.4.4.1).

Розмір інтервалу вимірювань також спричиняє похибки, проте суттєво менші, ніж пов'язані зі смугою пропускання. Наприклад, в разі інтервалу вимірювань в 10 нм (за смуги пропускання 5 нм) похибка в координатах (u' ; v') у типових СВД становить менше 0,0005, а в разі інтервалу в 5 нм – менше 0,00001). Проте, в колориметрії розрядних ламп є загально прийнятим узгоджувані розміри смуг пропускання та інтервалів вимірювань; в колориметрії СВД неузгодженості призводять до негативних наслідків. Скоріше, менші смуги пропускання є важливішими за певних інтервалів вимірювань. Проте, розміри інтервалів вимірювань є важливими для одержання значень таких параметрів, як довжина хвилі, що відповідає максимуму та ширина спектра (параметри форми спектра) СВД. Якщо вимірюються лише колірні параметри достатньо прийнятим є інтервал вимірювань у 5 нм (і менше). Для визначення довжини хвилі, що відповідає максимуму та ширині спектра рекомендується інтервал в 2,5 нм і менше. Вищезазначене (наприклад, інтервал – 2,5 нм, смуга – 5 нм) є найсприятливішим в разі вимірювань колірних параметрів, оскільки в разі такої смуги пропускання зменшуються похибки, пов'язані як з випадковими шумами, так і з вищезазначеними чинниками.

Оскільки розміри смуг пропускання та інтервалів вимірювань є фіксованими та незмінюваними в багатьох приладах, що надходять у продаж (наприклад, у діодно-матричних), ці параметри є вибірковими в більшості приладів з механічним установленням інтервалів. Для

зменшення похибок бажаними є менші смуги пропускання, але при цьому зменшуються рівні сигналів. Бажаними є й менші інтервали, але вимірювання забирають більше часу. Тому значення цих параметрів установлюються в залежності від інтенсивності СВД та бажаних значень невизначеностей вимірювань.

7.4.4.1 Коригування, пов'язані зі смугами пропускання

Для підвищення точності вимірювань, рекомендується застосування коригування щодо смуги пропускання. Існують покращені методики, які можуть застосовуватися до смуг пропускання з нетрикутниковими функціями і не потребують узгодженість між смугами пропускання та інтервалами вимірювань ([17] та [18], буде оприлюднено).

7.4.5 Інші складові в невизначеностях

Існує багато складових в невизначеностях в результатах спектральних вимірювань параметрів джерел світла, не пов'язаних зі смугами пропускання та інтервалами вимірювань, а саме: похибка в значенні довжини хвилі, шуми, стороннє світло, люмінесценція, нелінійність фотоприймача, невизначеності, пов'язані з еталоном тощо. Шуми (в діапазоні функціонування) та стороннє світло є особливо критичними для вимірювань параметрів СВД, тому що типові СВД мають випромінювання лише в частині видимого діапазону. Якщо стороннє світло виникає в області спектра, де СВД не випромінює, ефект спотворення кольору буде суттєвим. Деякі придбані прилади не пропускають сигналів з від'ємними значеннями (наприклад, шумів), що є недопустимим в спектральних розподілах, за якими вимірюються колірні параметри СВД. Якщо негативні шумові сигнали урізаються до нуля, решта позитивних (особливо в області, де СВД не випромінює) спричиняють такий самий ефект, як і стороннє світло, що може призводити до суттєвих похибок у вимірюваннях

колірних параметрів. В разі ДУФВ невизначеності вимірювань стають ще чуттєвішими через люмінесценцію.

Невизначеності в спектральних параметрах або похибки в значеннях довжин хвиль мають підсумовуватися в невизначеностях колірних параметрів (координат колірності, корельованої колірної температури, домінуючої довжини хвилі) за допомогою статистичних методів (див. [15]). Щодо практичних методик таких розрахунків стосовно джерел світла (в тому числі, СВД) див. [19] та [20].

Інші подробиці щодо невизначеностей в спектральних вимірюваннях є загальними стосовно вимірювань параметрів традиційних джерел світла і перебувають поза колом питань, що розглядаються цим документом. Вони охоплюються публікацією [14].

БІБЛІОГРАФІЯ

1 ГОСТ8.322–78. Светловые измерения. Значение относительной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.

2 Stearns E.I. and Stearns R.E., An Example of Method for Band pass Error (Приклад способу корегування значень опроміненості щодо похибки, пов'язані зі смугою пропускання). Color Res. and Appl. 13, 257–259, 1988.

3 CIE17.4–1987. International Lighting Vocabulary (Міжнародний словник світлотехнічних термінів).

4 CIE18.2–1983. The Basis of Physical Photometry (Основи фізичної фотометрії).

5 CIE 15:2004. Colorimetry (Колориметрія).

6 Grum F. and Bartelson C.J., Optical radiation measurement (Вимірювання параметрів оптичного випромінювання). Vol.2. Color Measurements. Academic Press, New York, 1980.

7 Wyszecki G and Stiles W.S., Color Science (Наука про кольори), 2nd ed. John Wilay and Sons, New York, 1982.

8 Goure J.P. and Massot J.N., Commentaries sur la determination de la loi de luminance $L(P,q)$ d'une source semi-con-ductrice en champ proche (Настанови щодо визначення залежності $L(P,q)$ освітленості, утворюваної напівпровідниковим джерелом за умов близького поля). Optical and Quantum Electronics, 14, S. 1982.

9 Report from CIE TC 2-37 (буде опубліковано). Photometry Using $V(\lambda)$ -corrected Detectors as Reference and Transfer Standards (Використання у фотометрії приймачів, скоригованих під функцію $V(\lambda)$, як зразкових та передавальних еталонів).

10 Report from CIE TC 2-43 (буде опубліковано) Determination of Measurement Uncertainties in Photometry (Обчислення невизначеностей у фотометрії).

11 CIE 64–1984. Determination of Spectral Responsivity of Optical Radiation Detectors (Визначення спектральних чутливостей приймачів оптичних випромінень).

12 CIE 69–1987. Methods of Characterising Illuminance Meters and Luminance Meters (Способи характеризування люксометрів та яскравометрів).

13 Csuti P., Kranicz B. and Schandra J. (буде опубліковано в Svetotechnika/Light and Engineering). Description of a partial f_1^* error index recommended for LED photometry (Опис окремого індексу f_1^* похибок, рекомендованого для фотометрії СВД).

14 CIE 70–1987. The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions (Визначення абсолютних значень параметрів розподілів сил світла).

15 CIE 63-1984. The Spectroradiometric Measurement of Light Sources (Спектральні вимірювання параметрів джерел світла).

16 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (настанови щодо виражень невизначеностей вимірювань): First ed. – ISO, Switzerland, 1993.

17 Ohno Y. (буде опубліковано), A Flexible Band pass Correction Method for Spectrometers (Пристосований спосіб коригувань смуг пропускання спектрометрів) In Proc. AIC'05, Granada, Spain, 9–13 May, 2005.

18 Gardner J.L. (буде опубліковано в Color Res. and Appl.). Bandwidth Correction for LED Chromaticity (Корегування смуги пропускання під час визначення колірності СВД).

19 Ohno J., A Numerical Method for Color Uncertainty (Числовий метод вираження невизначеності кольору). In Proc. CIE Expert Symposium 2001 on Uncertainty Evaluation, CIEx020–2001, 8–11, 2001.

20 Gardner J.L., Uncertainty estimation in color measurement (Оцінювання невизначеностей вимірювань колірних параметрів). Color Res. and Appl., 25, 349-355, 2000.

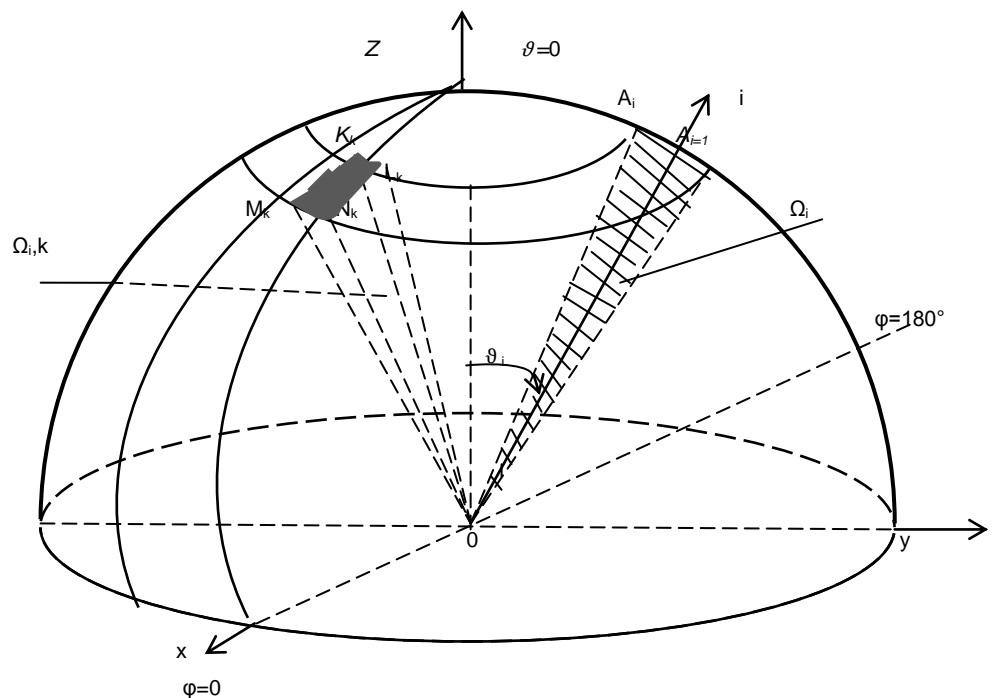
21 IEC 60050-845:1987. International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 845: Lighting (Міжнародний словник електротехнічних термінів. Глава 845: Світлотехніка).

ДОДАТОК НА1

(довідниковий)

ПОРЯДОК ПОБУДОВИ ПОЯСОВИХ ТА ЧОТИРИГРАННИХ
ТЕЛЕСНИХ КУТІВ ТА ЇХНІ ЗНАЧЕННЯ

Для побудови поясових телесних кутів в будь-якій меридіанній площині в уявній сфері, радіус якої дорівнює відстані d вимірювань, дуга твірного півкола від $\vartheta=0^\circ$ до $\vartheta=180^\circ$ радіусами ділиться на i рівних частин $\Delta\vartheta_i$. На рис. НА1 показано *) два таких сусідніх радіуси OA_i та OA_{i+1} .

Рисунок НА1 ϑ Порядок побудови поясових телесних кутів.

Кут ϑ_i між віссю Z і радіусом, який ділить дуги A_iA_{i+1} пополам, визначає i -тий розгляданий напрямок, в якому вимірюється сила світла I або освітленість E .

Просторове тіло, яке утворюється внаслідок обертання фігури OA_iA_{i+1} є поясовий телесний кут Ω_i .

Значення поясових телесних кутів Ω_i за значень $\Delta\vartheta$, що дорівнюють 2° ; 5° та 10° надаються у таблицях НА1, НА2 та НА3.

*) Показано лише верхню половину уявної півсфери (від $\vartheta=0^\circ$ до $\vartheta=90^\circ$).

Таблиця НА1 – Значення Ω_i за $\Delta\vartheta = 2^\circ$

Інтервал	ϑ_i	Ω_i , ср	Інтервал	ϑ_i	Ω_i , ср
0–2°	1°	0,00283	46–48°	47°	0,1605
2–4	3	0,01159	48–50	49	0,1654
4–6	5	0,01910	50–52	51	0,1708
6–8	7	0,02667	52–54	53	0,1749
8–10	9	0,03430	54–56	55	0,1793
10–12	11	0,04145	56–58	57	0,1833
12–14	13	0,04920	58–60	59	0,1872
14–16	15	0,0557	60–62	61	0,1914
16–18	17	0,0640	62–64	63	0,1953
18–20	19	0,0714	64–66	65	0,1986
20–22	21	0,0788	66–68	67	0,2017
22–24	23	0,0855	68–70	69	0,2047
24–26	25	0,0926	70–72	71	0,2072
26–28	27	0,1001	72–74	73	0,2095
28–30	29	0,1063	74–76	75	0,2121
30–32	31	0,1128	76–78	77	0,2139
32–34	33	0,1186	78–80	79	0,2149
34–36	35	0,1254	80–82	81	0,2165
36–38	37	0,1319	82–84	83	0,2177
38–40	39	0,1375	84–86	85	0,2183
40–42	41	0,1436	86–88	87	0,2187
42–44	43	0,1494	86–88	89	0,2193
44–46	45	0,1549			

Примітка. Значення Ω_i за значень ϑ_i від 90° до 180° можна визначати за аналогією з таблицями НА2 та НА3

Таблиця НА2 – Значення Ω_i за $\Delta\vartheta=5^\circ$

Інтервал	ϑ_i	Ω_i , ср.	Інтервал	ϑ_i
0–2,5°	0°	0,0060	177,5–180°	180°
2,5–7,5	5	0,0478	172,5–177,5	175
7,5–12,5	10	0,0957	167,5–172,5	170
12,5–17,5	15	0,1419	162,5–167,5	165
17,5–22,5	20	0,1845	157,5–162,2	160
22,5–27,5	25	0,2317	152,5–157,5	155
27,5–32,5	30	0,2741	147,5–152,5	150
32,5–37,5	35	0,3144	142,5–147,5	145
37,5–42,5	40	0,3523	137,5–142,5	140
42,5–47,5	45	0,3876	132,5–137,5	135
47,5–52,5	50	0,4199	127,5–132,5	130
52,5–57,5	55	0,4490	122,5–127,5	125
57,5–62,5	60	0,4747	117,5–122,5	120
62,5–67,5	65	0,4968	112,5–117,5	115
67,5–72,5	70	0,5150	107,5–112,5	110
72,5–77,5	75	0,5295	102,5–107,5	105
77,5–82,5	80	0,5398	97,5–102,5	100
82,5–87,5	85	0,5461	92,5–97,5	95
87,5–90,0	90	0,2738	87,5–92,5	90

Таблиця НА3 – Значення Ω_i за $\Delta\vartheta=10^\circ$

Інтервал	ϑ_i	Ω_i , ср.	Інтервал	ϑ_i
0–10°	5°	0,095	170–180°	175°
10–20	15	0,283	160–170	165
20–30	25	0,463	150–160	155
30–40	35	0,628	140–150	145
40–50	45	0,774	130–140	135
50–60	55	0,897	120–130	125
60–70	65	0,993	110–120	115
70–80	75	1,058	100–110	105
80–90	85	1,091	90–100	95

Для побудови чотиригранних тілесних кутів як частин певного поясового тілесного кута останній ділиться сукупністю меридіанних площин, які одночасно ділять коло перетину розглядової уявної сфери площиною xO_y на k однакових частин (дуг). На рис. НА1 показано один з чотиригранних тілесних кутів Ω_{ik} , що вирізає на поверхні уявної сфери криволінійний чотирикутник $K_kL_kM_kN_k$, як частина вищеописаного поясового тілесного кута Ω_i . Зазвичай $\Delta\varphi=\Delta\vartheta$.

Щоб знайти значення чотиригранних тілесних кутів Ω_{ik} за значень $\vartheta\varphi=\Delta$ $\vartheta=2^\circ$ в кожному з напрямків, визначених кутом ϑ_i треба кожне відповідне значення Ω_i поясових тілесних кутів 3-й та 6-й колонках таблиці НА1 поділити на 180, а за значень $\Delta\varphi=\Delta\vartheta=5^\circ$ та $\Delta\varphi=\Delta\vartheta=10^\circ$ треба значення Ω_i в третій колонках таблиць НА2 та НА3 поділити відповідно на 72 та 36.

ДОДАТОК НА2

(обов'язковий)

ТЕРМІНИ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

У цьому додатку надаються визначення тих термінів, які застосовуються в тексті цього стандарту, але не визначаються в ньому. В зв'язку з відсутністю публікації [2] визначення спеціальних світлотехнічних термінів надаються згідно з главою 845 «Світлотехніка» Міжнародного словника електротехнічних термінів (МСЕТ) [21], які є тотожними. Після визначень в квадратних дужках даються посилання на номери терміно статей в [21].

адитивне мішання колірних стимулів (additive mixture of colour stimulus)

Збудження, яке сполучає на сітківці ока два різних колірних стимули таким чином, що вони не можуть сприйматися окремо [МСЕТ 845-03-15].

ахроматичний (сприйманий) колір (achromatic (perceived) colour)

Сприйманий колір, позбавлений колірного тону. При цьому зазвичай використовуються такі назви кольорів, як білий, сірий або чорний, а стосовно об'єктів, які пропускають світло – безбарвний або нейтральний [МСЕТ 845-02-26].

ахроматичний [хроматичний] стимул (achromatic [chromatic] stimulus)

Стимул, який за умов адаптації спостерігача, спричиняє відчуття сприйманого ахроматичного [хроматичного] кольору [МСЕТ 845-06-[07].

домінуюча довжина хвилі (колірного стимулу); λ_d (dominant wavelength (of a colour stimulus))

Домінуюча довжина хвилі монохроматичного стимулу, в разі адитивного мішання в належному співвідношенні зі стандартним ахроматичним стимулом урівнює за кольором розглядний стимул. [МСЕТ 845-05-44]

кластер (cluster)

Система слабо зв'язаних між собою атомів або молекул.

колір (сприйманий) ((perceived) colour)

Властивість зорового сприймання, яка поєднує хроматичні та ахроматичні ознаки. Ця властивість зорового сприймання може описуватися за допомогою назв хроматичних кольорів, таких як: жовтий, оранжевий, коричневий, червоний, рожевий, зелений, голубий, пурпурний тощо, або назвами ахроматичних відтінків, таких як: яскравий, тьмянний, світлий, темний тощо, або ж комбінацією цих назв [МСЕТ 845-02-18].

колірний графік (див. рис. 12) (chromaticity diagram)

Видиме випромінювання, яке, потрапляючи в око, спричиняє відчуття або хроматичного або ахроматичного кольору [МСЕТ 845-03-02].

координати кольору (колірного стимулу) (tristimulus values (of colour stimulus))

Кількість трьох стандартних (основних) колірних стимулів в певній триколірній колориметричній системі, які необхідні для зрівнювання за кольором зі стимулом, що розглядається.

Примітка. В стандартних колориметричних системах СІЕ координати кольору позначаються символами X, Y, Z або X_{10}, Y_{10}, Z_{10} [МСЕТ 845-03-22].

координати колірності (chromaticity coordinates)

Відношення кожної з трьох координат кольору до їх суми.

Примітка 1. Оскільки сума трьох координат колірності дорівнює одиниці, то для визначення колірності достатньо двох координат колірності.

Примітка 2. В стандартних колориметричних системах СІЕ координати кольору позначаються символами x, y, z або x_{10}, y_{10}, z_{10} [МСЕТ 845-03-33].

координати колірності u', v' (chromaticity coordinates u', v')

В стандартних колориметричних системах СІЕ координати кольору позначаються символами u', v' . Колориметрична система координат (u', v'), які кількісно визначаються за формулами

$$u' = \frac{4x}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{x+15y+3z},$$

$$v' = \frac{9y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{x+15y+3z},$$

щодо позначень X, Y, Z або x, y, z див. у попередніх двох пунктах [МСЕТ 845-03-53 мод.]

корельована колірна температура; $T_{кк}$ (correlated colour temperature)

Температура чорного тіла, сприйманий колір якого є найбільш тотожним до кольору розгляданого стимулу за тієї самої світлоти та тих самих стандартних умов [МСЕТ 845-03-50].

косинусна чутливість (cosin responsivity)

Чутливість s , яка залежить від кута i падіння за законом

$$s = s_0 \cdot \cos i,$$

де s_0 – чутливість в разі перпендикулярного ($i=0$) падіння випромінювання.

меридіанна площина (meridional plane)

Площина, що проходить через вісь z уявної сфери, радіус якої дорівнює відстані d вимірювань або через оптичну вісь просторового розподілу інтенсивності випромінення (фотометричного тіла).

модульований режим (modulated mode)

Режим, під час якого амплітуда додатково змінюється з частотою, суттєво меншою, ніж частота основних коливань.

монохроматичний (спектральний) стимул (monochromatic (spectral) stimulus)

Стимул монохроматичного випромінювання [МСЕТ 845-03-08].

мультиплексний режим (multiplexed mode)

Режим, який являє собою послідовність однакових за амплітудою імпульсів майже прямокутної форми.

насиченість (saturation)

Кольоровідчування поверхні, яке оцінюється пропорційно її **світності** [МСЕТ 845-02-41].

однотактовий режим (single shot mode)

Режим, подібний однопівперіодному, але тривалості наявності та відсутності напруги/струму можуть бути різними.

світлота (luminosity)

Ознака зорового відчування згідно з якого поверхня сприймається як така, що випромінює більше чи менше світло [МСЕТ 845-02-26]

світність (в точці поверхні); M_v , M (luminous exitance (at a point of a surface))

Відношення світлового потоку $d\Phi_v$, який виходить з елемента поверхні, що містить певну точку, до площі dA цього елемента [МСЕТ 845-01-48]

спектральна температура (spectral temperature)

Значення температури випромінювача Планка (чорного тіла), за якого функція $\varphi(\lambda)$ відносної спектральної густини розподілу променевого потоку в певній області спектра є такою самою, як у випромінення що розглядається [МСЕТ 845-04-14]

Примітка: як не дивно, назви цього терміну в [21] мають виглядати: e_n – distribution temperature та t_n – температура распределения, що звучить досить абсурдно; тому за аналогією з подібними визначеннями колірної (845-03-13) та яскравистної (845-03-13) температур, ця температура має називатися спектральною.

стандартні випромінення (ілюмінанти) СІЕ (CIE standard illuminants)

Випромінення А,В,С, D_{65} та інші випромінення Д, які визначені СІЕ за певними розподілами відносної спектральної інтенсивності [МСЕТ 845-03-12].

Примітка: стандартне випромінення А СІЕ утворює такі самі умови освітлення, що й лампа розжарювання з колірною температурою $T_K=2856$ К та колірними координатами $x=0,448$ і $y=0,407$.

фотодіод (photodiode)

Напівпровідниковий діод, в якому використовується залежності його параметрів від освітленості.

урівнювання за кольором (colour matching)

Дії, які роблять розгляданий стимул близьким за кольором до певного колірною стимулу [МСЕТ 845-03-16].

чистота (колірного стимулу) (purity (of colour stimulus))

Кількісне співвідношення монохроматичного та стандартного ахроматичного стимулів при якому їх адитивне мішання **урівнює за кольором** розгляданий стимул [МСЕТ 845-03-46].

УКНД 29.140.99; 31.080.99

Ключові слова: світловипромінюючий діод; випромінювання; світловий потік (повний; частковий); сила світла; просторовий розподіл; спектральний розподіл; фотометр; гоніофотометр; спектрорадіометр

Ректор ПУЕТ д.і.н., проф. _____ Нестуля О.О.

Керівник розробки, д.т.н.,
проф. каф. товарознавства
непродовольчих товарів
(ТНТ) ПУЕТ _____ Кожушко Г.М.

Провідний наук. співробітник
науково-технічного центру
(НТЦ) ПУЕТ _____ Ткаченко В.І.

Ст. викл. каф. ТНТ ПУЕТ,
старший наук. співробітник
НТЦ ПУЕТ _____ Басова Ю.О.

Молодший наук. співробітник
НТЦ ПУЕТ _____ Дугніст Л.В.