УДК 621.52; 621.793

© 2007 р. І.В. Докторович, І.М. Фодчук*, В.К. Бутенко, В.М. Годованок, В.Г. Юр'єв, В.Г. Житарюк*

ВАТ "ЦКБ Ритм", Чернівці
Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

СПЕКТРАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ РТУТНИХ ЛАМП

Наводяться результати досліджень спектрального розподілу потужності випромінювання ртутних ламп типу ДРГС-12, ДРТ-125 та ДРТ-220 з метою використання цього випромінювання для атестації приймачів в УФ-області спектру.

Research results of spectral distribution of radiation power for mercury lamp like to ДРГС-12, ДРТ-125 and ДРТ-220 are represented with the purpose to use this radiation for certification of detectors in ultra-violet region of spectrum.

Вступ

Ультрафіолетове випромінювання (УФВ) характеризується значною енергією, дія якої на людину спричинює відомі фізіологічні зміни [1,2]. Для контролю та дотримання санітарних норм праці в умовах підвищеного рівня УФВ, таких як зварювальні роботи, полімеризація матеріалів, обеззараження приміщень та середовищ, терапевтичні процедури [1,2], створені вимірювальні комплекси УФВ [3-6]. За Законом України про метрологію та метрологічну діяльність [7] засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), які призначені для контролю безпеки умов праці, повинні проходити періодичну метрологічну перевірку. В переліку таких ЗВТ містяться вимірювачі УФВ. Розглянемо проблеми, які виникають при метрологічній атестації вимірювачів УФВ.

Фотоприймачі

Простий метод калібрування оптико-електронних приладів полягає у порівнянні параметрів приладу, який калібрується, з параметрами еталонного засобу вимірювання. Як еталон засобу використовується ідентичний або близький за технічними характеристиками до вимірюваного прилад.

Проте калібрування УФВ, за яким здійснюється визначення абсолютних значень світлових потоків від джерел, є складним процесом, через спектральнозмінну форму потоку та спектрально-селективну чутливість еталонних вимірювальних систем (головок).

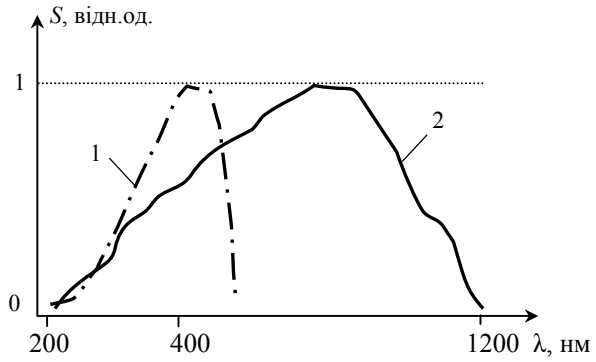


Рис. 1. Відносні спектральні характеристики чутливості фотодіодів. Фотодіод "Синєва" (1), фотодіод ФД-288 (2)

На рис. 1 наведені спектральні характеристики фотодіодів, чутливих до УФ-випромінювання. Це фотодіоди "Синєва" (транскрипція російською) на основі фосфіду галію та фотодіоди ФД-288 на основі кремнію. Вони розроблялись для метрології, мають високі технічні та метрологічні характеристики [8] і використовуються як еталонні фотоприймачі при визначенні параметрів потоків монохроматичного випромінювання.

Визначити спектральні параметри потоків випромінювання за допомогою вищевказаних або подібних фотодіодів досить складно, а інколи неможливо, так як вихідний фотосигнал $I_ф$ визначається за формулою

$$I_ф = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda r_\lambda d\lambda . \qquad (1)$$

Дана величина залежить від спектрального розподілу потоку випромінювання r_λ і спектральної характеристики чутливості фотоприймача S_λ.

В загальному еталонний фотоприймач атестується за інтегральною чутливістю дії на нього потоку, який створюється стандартизованим джерелом випромінювання з відомим спектральним розподілом випромінювання. Так, для фотоприймачів чутливих у видимій та ближній інфрачервоній області визначається інтегральна чутливість при дії потоку від джерела з кольоровою температурою тіла розжарювання $T_к$=2850 К (джерело типу *A*). Для фотоприймачів, що чутливі в середній та дальній інфрачервоній областях як джерело використовується абсолютно чорне тіло [9,10]. Далі, за відомим спектральним складом випромінювання встановлюється інтегральна чутливість фотоприймача, яка переноситься на шкалу приладу при калібруванні.

Проте існуючими стандартами, не передбачені умови, за яких можливо визначати інтегральну чутливість фотоприймачів до потоків УФ-випромінювання взагалі та в спектральних піддіапазонах (зразки УФ-*A*, УФ-*B*, та УФ-*C*, зокрема [11,12]).

Основною причиною відсутності конкретних вказівок у стандартах є проблема відтворення умов і режимів експлуатації як джерел випромінювання, так і фотоприймачів.

Щодо джерел, то нами виявлені значні відхилення відносного розподілу випромінювання від даних, наведених в [13]. На разі застосування вказаних нормативних даних спричинює значну похибку вимірювань в УФ-області.

Остання обставина спонукала до проведення наших досліджень.

Джерела випромінювання

Для кількісних вимірювань в УФ-області спектра використовуються джерела випромінювання, до яких встановлені такі вимоги:

– наявність інтенсивного потоку випромінювання;
– просторова і часова стабільність спектрального складу та інтенсивності;
– відтворювання спектральної енергетичної яскравості.

На сьогодні існує ціла низка штучних та природних джерел УФ-радіації (Сонце, небо, окремі зорі), які поділяються на селективні, що випромінюють у вузькій області УФ-спектра, і інтегральні, які випромінюють увесь УФ спектр.

До штучних селективних належать бактерицидні і холодні ртутно-кварцові лампи (ртутні, ксенонові, криптонові, дейтерієво-водневі), а також дуга при електрозварюванні, випромінювання яких на 80% складається з короткохвильових променів з довжиною хвилі 253,7 нм, та еритемні люмінесцентні лампи, які використовуються для отримання відрізків довгохвильових (297 нм) УФ-променів.

Ртутно-кварцеві лампи низького тиску володіють лінійчастим спектром в усьому УФ-діапазоні від 200 до 400 нм. Спектральні лампи типу ДДС-30 є джерелами суцільного спектру і призначені для генерації потужного монохроматичного УФ-випромінювання для спектрофотометричних досліджень.

Суцільний спектр випромінювання мають також Сонце, небо та дугові джерела випромінювання високого та надвисокого тисків, наприклад, ксенонові та криптонові лампи тощо.

Газорозрядні ртутні лампи з люмінофорами (ЛД, ЛТБ, ЛБ, ЛХБ) мають комбінований склад спектру випромінювання – лінійчастий і суцільний.

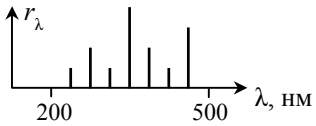
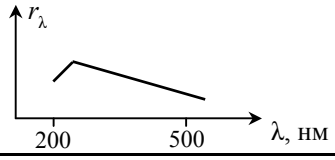
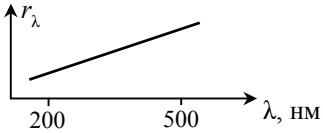
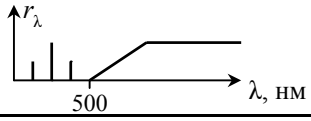
Основні типи джерел УФ-випромінювання умовно поділяють на чотири класи, які зведено в таблиці 1.

Окрім різновидів форм спектрального складу джерел, реальні спектральні характеристики розподілу потоку випромінювання, навіть у однотипних джерел, суттєво відрізняються. Основними причинами вказаної відмінності є: спотворення спектрального складу вихідними вікнами джерел, ідмінність робочих режимів, різниця складу парціального тиску атмосфери та всередині колби, старіння джерел.

Врахувати спектральний склад джерел можна, визначивши спектральні характеристики розподілу, які накладаються: апаратна функція спектрального приладу, спектральні характеристики оптичних елементів (конденсор, дзеркало, світлофільтри) та спектральна характеристика чутливості фотоприймача. Всі ці фактори враховуються, але це не просте завдання, особливо визначення апаратної функції спектрального приладу.

Отже, визначення абсолютних значень потоків випромінювання або освітленостей в певному спектральному діапазоні, які створює реальне джерело, є складним технічним і методичним завданням.

Таблиця 1. Основні класи джерел УФ-випромінювання

№ п/п	Тип джерела випромінювання	Приблизний вигляд розподілу випромінювання в УФ-діапазоні
1	Газорозрядні ртутні лампи без люмінофорів (ДРТ, ДРШ, СВДШ)	
2	Дейтерієво-водневі спектральні лампи (ДДС-30, ЛД(Д) тощо)	
3	Випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ) з температурою від 2000 до 6000 К); Джерела випромінювання за спектральним розподілом густини випромінювання, наближеним до законів АЧТ: – Сонце поза атмосферою; – електричні дуги; – дугові газорозрядні лампи (ДКсШ, ДКрШ); – лампи розжарювання з кварцовою колбою типу КГМ.	
4	Газорозрядні ртутні лампи з люмінофорами (ЛД, ЛТБ, ЛБ, ЛХБ тощо)	

Дослідження

Як зазначалось, метою даної роботи є дослідження відносного розподілу потужності випромінювання основних ліній ртутних ламп низького тиску, а саме ДРГС-12, ДРТ-125 та ДРТ-220, які відрізняються за конструкцією, технічними параметрами і потужністю потоків випромінювання.

Вимірюванням підлягав спектральний розподіл у піддіапазоні УФ-*А* 315÷400 нм з максимумом випромінювання λ_{1max}=365 нм, у піддіапазоні УФ-*В* 280÷315 нм з $\lambda_{2\ max}$=313 нм, у піддіапазоні УФ-*С* (200-280 нм) з λ_{3max}=254 нм. Вказані лінії виділялися за допомогою інтерференційних фільтрів.

На рис. 2 наведено загальний вигляд спектральної характеристики розподілу потоку випромінювання ртутних ламп [13].

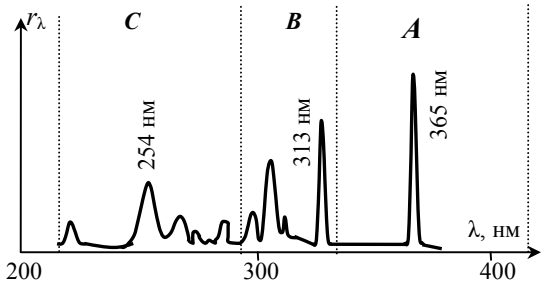


Рис. 2. Спектральна характеристика випромінювання ртутної лампи типу ДРТ220. *А, В, С* – спектральні піддіапзони УФВ: 365 нм, 313 нм, та 254 нм – лінії з максимальними потужностями випромінювання у піддіапазонах

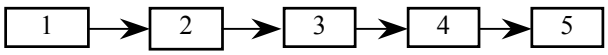


Рис. 3. Структурна схема вимірювального комплексу для досліджень спектрального розподілу потужності випромінювання: джерело УФ-випромінювання – ртутна лампа (1), змінні інтерференційні світлофільтри (2), еталонна радіометрична головка (3), прецизійний перетворювач струм-напруга ППТН-1 (4), цифровий вольтметр В7-34А (5)

Вимірювання енергетичної освітленості E_e на довжинах хвиль λ_{1max}, λ_{2max} та λ_{3max} наводиться на структурній схемі установки на рис. 3 .

При належному прогріві апаратури і виходу ламп на робочий режим визначається енергетична освітленість E_{e1}, яка визначається за формулою:

$$E_{e1} = \frac{4U_{\phi 1}}{K_{np} S_{\lambda 1} \pi d^2 \tau_\lambda},, \qquad (2)$$

де E_{e1} - енергетична освітленість (Вт/м^2), $U_к$ - напруга фотосигналу (В), K_{np} - коефіцієнт перетворення ППТН-1 (В/А), $S_{\lambda 1}$ - струмова монохроматична чутливість еталонної головки на довжині хвилі λ_{1max} (А/Вт), d - діаметр діафрагми (м), встановленої перед фотоприймачем, розмір якої визначений з похибкою, що не перевищує ±1%, τ_λ – коефіцієнт пропускання інтерференційного світлофільтра на робочій довжині хвилі (відн. од.).

Таблиця 2. Відносний розподіл потоків випромінювання різнотипних ртутних ламп

Тип ртутної лампи	Розподіл випромінювання ртутних ламп на довжині хвилі λ_{max}, нм		
	254	313	365
ДРГС-12	1,0	0,42	0,24
ДРТ-125	0,34	0,89	1,0
ДРТ-220	0,25	0,47	1,0

Таблиця 3. Відносний розподіл потоків випромінювання ртутних ламп типу ДРТ-220

Тип ртутної лампи (номера ламп – умовні)	Розподіл випромінювання ртутних ламп ДРТ-220 (на довжині хвил λ_{max})		
ДРТ-220	254 нм	313 нм	365 нм
1	0,25	0,47	1,0
2	0,20	0,60	1,0
3	0,28	0,55	1,0

Аналогічно, підстановкою в формулу (2) значення чутливості еталонної головки і коефіцієнта пропускання інтерференційного світлофільтра на відповідній довжині хвилі, визначаються енергетичні освітленості E_{e2}, E_{e3}.

Оскільки створити однакові умови освітлення еталонної радіометричної головки різнотипними лампами складно, то для спрощення обробки результатів вимірювання для кожної із ламп розподіл випромінювання нормується.

Результати вимірювань різнотипних ламп наведені в таблиці 2, а для однотипних ДРТ-220 в таблиці 3.

Зазначимо, що ртутні лампи є нестабільними джерелами оптичного випромінювання [14], тому в таблицях 2,3 наведені усереднені значення п'яти вимірів.

Очевидно спектральний розподіл потоків випромінювання ліній ртуті суттєво відрізняється для різнотипних ламп. Своя відмінність спостерігається і в однотипних лампах.

Висновки

За результатами досліджень встановлено наявність відмінностей у спектральних розподілах потоків УФ-випромінювання та оцінено рівень відносних змін однотипних і різнотипних ламп.

При калібруванні УФ-радіометрів необхідна атестація кожного екземпляра ртутної лампи по аналогії з процедурами відтворення стандартизованого спектрального складу джерела за кольоровою температурою у видимій області спектра.

При атестації джерел УФ-випромінювання необхідно враховувати і виключати вплив апаратної функції спектрального приладу, спектральних характеристик оптичних елементів, фотоприймача тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гигиеническая оценка и методы контроля оптического излучения производственных источников. Методические рекомендации. - Киев: Министерство здравоохранения УССР, 1986.
2. Санітарні норми та правила устрою, експлуатації та контролю обладнання, яке генерує електромагнітне випромінювання оптичного діапазону (інфрачервоне, видиме, ультрафіолетове). – Київ: НАН України, 1997.
3. www.tenzor.org.ua
4. www.tka.spb.ru
5. www.smartelec.ru
6. www.laverna.msk.ru/catalog
7. Закон України про метрологію та метрологічну діяльність // Відомості Верховної Ради України. – Київ. – 1998. – № 30-31. – С. 194 -202.
8. *Ніцович Б.М., Докторович І.В., Бутенко В.К, Годованюк В.М., Рюхтін В.В., Юр'єв В.Г.* Дослідження параметрів фотометричних та радіометричних головок на основі фотодіодів типу ФД288 // Український метрологічний журнал. – 2004. – №4. – С. 60-62.
9. ГОСТ 17772-88. Приемники излучения полупроводниковые фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Методы измерения фотоэлектрических параметров и определение характеристик. - М.: Изд-тво стандартов, 1988.
10. Измерение параметров приемников оптического излучения / Под ред. чл.-кор. АН СССР Л.Н. Кубатова и Н.В. Васильченко. - М.: Радио и связь, 1983.
11. УФ-излучение и его применение в биологии // Материалы X Всесоюзного совещания по биологическому действию УФ-излучения, 11-13 сентября 1973. – Горький, Пущино-на-Оке, 1973.
12. *Лазарев Д.Н., Соколов М.В.* Величины и единицы, характеризующие УФ излучение (терминология) // Материалы X Всесоюзного совещания по биологическому действию УФ-излучения, 11-13 сентября 1973. – Горький, Пущино-на-Оке, 1973. – С.34-40.
13. *Айзенберг Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 95-97.
14. *Бутенко В.К., Годованюк В.М., Докторович І.В., Юр'єв В.Г.* Прецизійний перетворювач струм-напруга // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 102: Фізика.Електроніка. – Чернівці: ЧНУ, 2001. – С.67-70.