

**ВЪВЕЖДАНЕ В ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ГОНИОФОТОМЕТЪР И
ИНТЕГРИРАЩА СФЕРА СЪС СПЕКТРОРАДИОМЕТЪР В НОВА
СВЕТЛОТЕХНИЧЕСКА ЛАБОРАТОРИЯ В ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ –
ГАБРОВО****Пламен Цанков¹**¹*Технически университет – Габрово***COMMISSIONING OF A GONIOPHOTOMETER AND AN INTEGRATING
SPHERE WITH SPECTRORADIOMETER IN A NEW LIGHTING LABORATORY
AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO****Plamen Tsankov¹**¹*Technical University of Gabrovo***Abstract**

The paper presents the construction and commissioning of a goniophotometer and an integrating sphere with a spectroradiometer in a new lighting laboratory at the Technical University of Gabrovo. A short description of the laboratory and the specifics of this type of measurements, the positioning of the instruments according to the geometric configuration of the laboratory, the electrical and information connection of the individual measuring modules, the software system configuration of the measuring instruments by specialized software and the calibration features with the reference light sources. Diagrams, photos and initial results of measurements in the new lighting laboratory are shown.

Keywords: goniophotometer, integrating sphere, spectroradiometer, reference light sources, lighting laboratory.

ВЪВЕДЕНИЕ

През 2018 г. в Технически университет – Габрово стартира проект Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“ с бюджет на стойност 23 569 719 лева. Целта на проекта е създаване на най-съвременна научна инфраструктура като комплекс от научно оборудване, разположено в реконструиран и модернизирани сграден фонд, придобиване и натрупване на върхова технологична експертиза и иновационен потенциал, които да допринесат за развитието на връзката наука-бизнес за укрепване конкурентоспособността икономиката. В Центъра за компетентност се създава специали-

зирана лаборатория „Екологични, енергоспестяващи и електромагнитно съвместими светлотехнически, LED и ВЕИ компоненти и технологии“.

Основните дейности в лабораторията са свързани с измерване на електроенергийни, фотометрични и цветови характеристики и параметри на светлинни източници и осветителни тела, включително и на светодиодни (LED) осветители, използвани за външно и вътрешно приложение, както и изследвания в областта на фотоволтаичните системи.

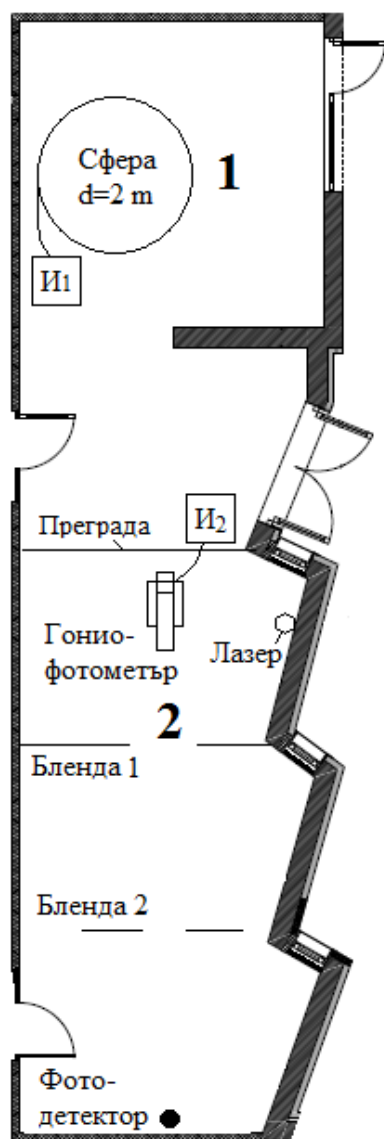
В доклада се описват геометричната конфигурация на новата светлотехническа лаборатория, специфичните особености на из-

мерванията, позиционирането и техническите възможности на въвежданите в експлоатация гониофотометър и интегрираща сфера със спектрорадиометър.

ИЗЛОЖЕНИЕ

ГЕОМЕТРИЧНА КОНФИГУРАЦИЯ НА СВЕЛТОТЕХНИЧЕСКАТА ЛАБОРАТОРИЯ

Архитектурната основа на светлотехническата лаборатория и местоположението на гониофотометъра и интегриращата сфера към спектро-радиометъра, са показани на фиг. 1. Общата площ на лабораторията е $82,44 \text{ m}^2$ с дължина $17,43 \text{ m}$, широчина $4,73 \text{ m}$ и височина – $2,60 \text{ m}$.



Фиг. 1. Архитектурна основа на светлотехническата лаборатория с разположение на измервателните уреди

Лабораторията се разделя условно на две работни зони – зона 1 и зона 2 (фиг. 1). В зона 1 се разполагат интегриращата сфера и измервателната апаратура със спектрорадиометъра, разположени в измервателен комплект $И_1$. Площта на зона 1 е $22,61 \text{ m}^2$ със страни: дължина $4,78 \text{ m}$ и широчина $4,73 \text{ m}$. В зона 2 се разполагат гониофотометър, лазер за оптично центриране и фотодетектор. Площта на зона 2 е $22,61 \text{ m}^2$ със страни: дължина 9 m и широчина $3,78 \text{ m}$. В тази зона се изграждат и две оптични бленди. Измервателната апаратура към гониофотометъра е разположена в измервателен комплект $И_2$ в шкаф (показан на фиг. 1), позициониран извън измервателната зона 2 между гониофотометъра и фотодетектора, отделена с допълнителна черна преграда.

Размерите на въведените в експлоатация гониофотометър и интегрираща сфера със спектрорадиометър са съобразени с гореописаната геометрична конфигурация на лабораторията.

Гониофотометърът, предназначен за измерване на светлоразпределителни криви (СРК) на светлинни източници, извършва фотометрични и ъглови измервания. Предявяват се строги изисквания към този вид измервания, съгласно утвърдените светлотехнически стандарти [1,2,3]. Измерванията с гониофотометъра се извършват при изключено общо осветление, плътно затъмнени прозорци, затворени и уплътнени врати и с допълнително изградени оптични бленди и преграда за отделяне на останалите обекти (в специално обособената зона 2) [4]. Стените, тавана и пода са третираны с черно матирано слабо отразяващо покритие, с което се постига минимално отражение на повърхностите – с коефициент на отражение $\rho \leq 10\%$ [5,6]. Изградените оптични бленди редуцират до минимум отразения от околните обекти светлинен поток към фотодетектора и в него попада директния, излъчен от светлинния източник, светлинен поток. Разстоянието между гониофотометъра и фотодетектора е 8 m , с което се удовлетворява изискването за разстояние, 5 пъти по-голямо от най-големия линейен размер на светлинния източник, и осигурява необходимата точност на фотометричните измервания.

В табл. 1 са представени максималните размери на изследваните светлинни източници за две отделни системи за фотометриране при измервания с гониофотометъра – те са съобразени с геометричната конфигурация на лабораторията.

Табл. 1. Максимални размери на светлинните източници и осветители, измервани с гониофотометъра

Модел	Максимален размер на осветителя (диаметър x дълбочина), mm	
	Система за фотометриране	
LSG-1700B	С-γ	В-β
	1600 x 550	700 x 600

Извършено е прецизно позициониране на фотодетектора спрямо оптичната ос на гониофотометъра с помощта на монтиран на страничната стена лазерна система с автоматизирано самохоризонтиране (фиг. 1). Извършена е последваща проверка на отразения лазерен лъч и фиксиране на фотодетектора към подовата повърхност посредством анкер-болтове. Фината настройка на отразения лазерен лъч се постига чрез фиксиращи полуцилиндрични болтове, монтирани в основата на стойката на фотодетектора. С цел коригиране на температурната грешката при фотометричните измервания се използва автоматична температурна корекция във фотодетектора.

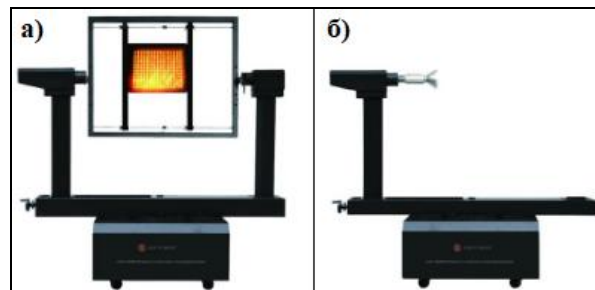
Измерванията на цветовете и електроенергийните характеристики на светлинните източници се извършват в интегрираща сфера с диаметър $d=2$ m, която е плътно затворена. По време на измерванията няма достъп на външна светлина в сферата и не е необходимо да бъде прекъснат достъпа до околна светлина в зона 1 в лабораторията, където е разположена сферата и измервателния комплект И₁. Вътрешната повърхност на сферата е покрита с бариев сулфат (BaSO₄), който осигурява необходимия за този тип измервания висок коефициент на дифузно отражение $\rho \geq 96\%$ [5,6].

ИНСТАЛАЦИЯ И КАЛИБРИРАНЕ НА ГОНИОФОТОМЕТЪРА

На фиг. 2 е показан външния вид на автоматизирания гониофотометър, модел LSG-1700B, въведен в лабораторията. Той е предназначен да измерва СРК на големи

осветители (улични, промишлени и офисни – фиг. 2-а)) и малки осветители (фиг. 2-б)).

Гониофотометър LSG-1700B се свързва към измервателен комплект (шкаф И₂ – фиг. 3) чрез електрозахранващи и информационни кабелни линии.



Фиг. 2. Конфигурация на гониофотометъра за системи на фотометриране С-γ (а) и В-β (б)



Фиг. 3. Измервателен комплект към гониофотометъра

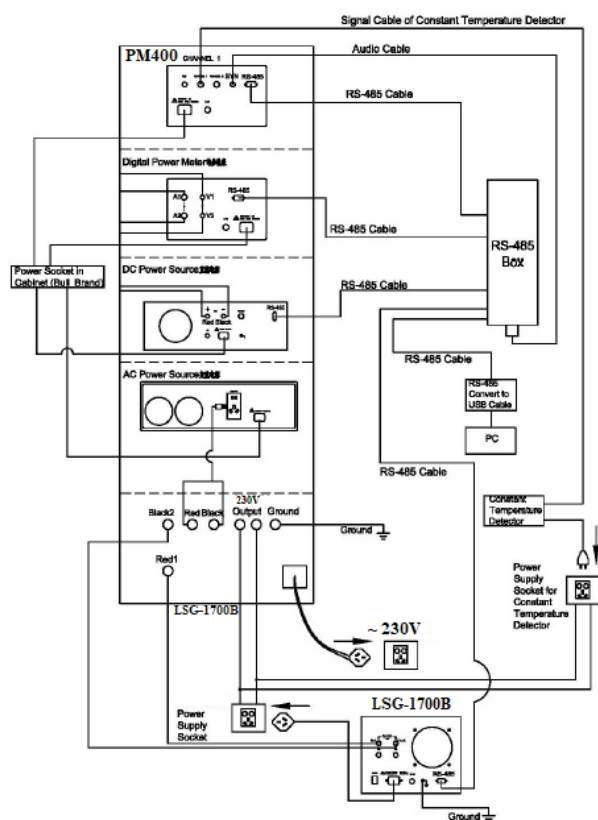
В шкафа на измервателния комплект са разположени: двуканален мултифотометър PM400; цифров уред LS2012 за измерване на напрежение, честота, ток, активна мощност и фактор на мощността; постоянно-ток цифров регулатор на напрежение и ток DC30V10A-CC&CV; източник на стабилизирани променливотоково електрозахранване с напрежение 230 V/50 Hz – Power Series-LSP-500VAS. Електрическите и

информационните връзки от измервателния комплект (И₂) към гониофотометъра и фотодетектора са представени на фиг. 4. От мултифотометъра PM400 се осъществява връзка с фотодетектора, разположен на 8 m от гониофотометъра.

В табл. 2 са представени основните технически характеристики на гониофотометъра.

Табл. 2. Технически характеристики на автоматизирания гониофотометър LSG-1700B

Характеристика на гониофотометър LSG-1700B	Стойност/ категория
Фотометричен клас, съгласно действащия DIN 5032-Част 7:	Клас А
Вид на измервателните оптични системи по CIE:	A- α , B- β , C- γ
Диапазон на изменение на измервателния ъгъл при система CIE за системата за C- γ :	$\gamma = \pm 180^\circ$
Точност на задаване на измервателния ъгъл:	$\gamma \leq 0.5^\circ$
Автоматично софтуерно управление и генериране на файлови формати:	*.ldt и *.ies



Фиг. 4. Диаграма на свързване на гониофотометъра

Извършва се инсталиране и системна конфигурация на специализиран софтуер LSG-1700B Lisun Goniophotometer, с който се извършват процесите на управление

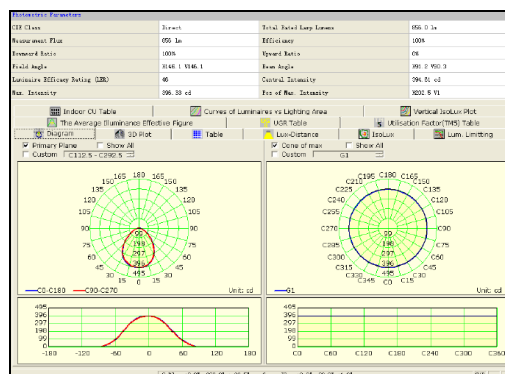
(ъглови премествания), калибриране и измерване на гониофотометъра.

Към измервателния комплект на гониофотометъра е доставена и стандартна калибрираща лампа, модел SLS-150W, с параметри: постоянно напрежение 30 V, ток 6,11 A, светлинен поток $\Phi=4353,7$ lm, интензитет на светлината $I=379,6$ cd и корелирана цветна температура $T_c = 3195$ K, посочени в сертификата за калибриране. В продължение на 20 минути се извършва темпериране на калибриращата лампа и установяване на светлинния поток. След установяване на светлинния поток в софтуера се задават параметрите на лампата, посочени в сертификата за калибриране, и се извършва процесът на калибриране.

Извършени са начални тестови фотометрични измервания на светлинни източници. На фиг. 5 е показан етап от процеса на измерване с гониофотометъра. Фотометрични резултати от измерено светлоразпределение на осево симетрична LED лампа с разсейвател са показани на фиг. 6. Получените фотометрични резултати съответстват на обявените.



Фиг. 5. Измерване с гониофотометър LSG-1700B



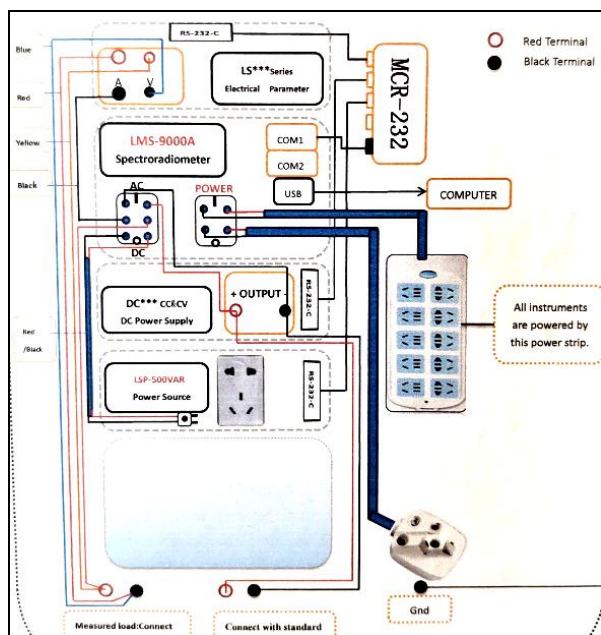
Фиг. 6. Резултати от измерване на CPK на LED лампа

ИНСТАЛАЦИЯ И КАЛИБРИРАНЕ СПЕКТРОРАДИОМЕТЪРА

Интегриращата сфера се свързва с измервателен комплект И₁. В комплекта са разположени променливотоков цифров електроенергиен анализатор LS2010 за измерване на напрежение, ток (до 20 А), активна мощност, фактор на мощността и хармонични съставлящи на ток и напрежение на изследвания светлинен източник и има собствен софтуер; спектрорадиометър LMS-9000B; цифров постоянотоков регулатор на напрежение и ток DC30V05A-CC&CV; източник на стабилизирано променливотоково електро-захранване с напрежение 230 V/50 Hz – Pure Sine Wave AC Power Source-LSP-500VAR.

Електрическите и информационните връзки между измервателния комплект със спектрорадиометъра LMS-9000B и интегриращата сфера са показани на фиг. 7, а на фиг. 8 е показан външния вид на измервателния комплект и интегриращата сфера, позиционирани в лабораторията.

От измервателния комплект към интегриращата сфера се свързват оптичен кабел, модел SMA905, с дължина 1,5 m, температурен сензор и фотодетектор.



Фиг. 7. Диаграма на свързване на електрозахранващите и информационните кабелни линии на спектрорадиометъра и интегриращата сфера



Фиг. 8. Външен вид на измервателния комплект и интегриращата сфера, позиционирани в лабораторията

Основните характеристики по отношение на точността и обхвата на измерване на спектрорадиометъра са представени в табл. 3.

Табл. 3. Характеристики на спектрорадиометъра

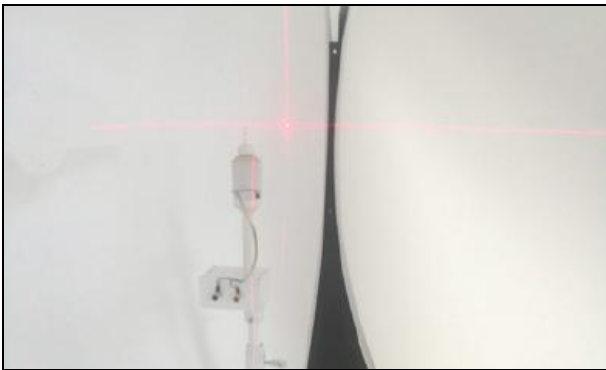
Характеристика на спектрорадиометър LMS-9000B	Стойност
Спектрален диапазон на измерване, в nm:	$\lambda=380\div800$
Спектрална точност в посочения вълнов обхват, в nm:	$\pm 0,3$
Относителна грешка за вълновия обхват, в %	$< 0,015$ (600 nm) $< 0,030$ (435 nm)
Точност на измерване на цветовете координати (Δx , Δy):	$\pm 0,002$
Диапазон на измерване на корели-раната цветна температура T_c , в K:	1500÷100000
Диапазон на измерване на индекса на цвето предаване R_a :	0÷100
Време на интегриране на измерването:	0,1 ms ÷ 20 s

Към спектрорадиометъра са предоставени две калибриращи лампи, модел SLS-100W, със сертификат за калибриране. В табл. 4 са посочени техническите характеристики на лампите.

Табл. 4. Характеристики на калибриращите лампи

Лампа	U, V(dc)	Ток, А	Φ , lm	T_c , K
SLS100W-1	30,0	3,9138	1272,6	2856
SLS100W-2	30,0	3,9852	1368,8	2856

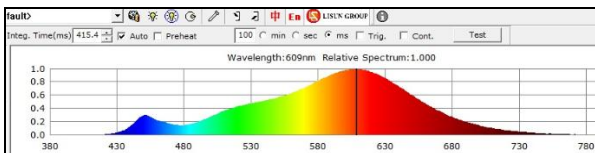
С помощта на лазерна система се извършва центриране на стандартната лампа и изследваните светлинни източници в център на интегриращата сфера, показано на фиг. 9.



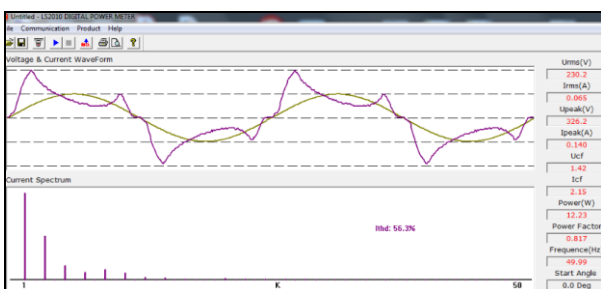
Фиг. 9. Центриране на светлинни източници в сферата

Извършва се инсталиране и системна конфигурация на специализиран софтуер LMS-9000B Lisun Spectroradiometer, с който се извършва калибриране и измерване на електроенергийните и цветовете характеристики на светлинните източници.

В продължение на 40 минути се извършва темпериране на калибриращата лампа и установяване на светлинния поток. След установяване на светлинния поток се извършва калибриране по отношение на спектралния състав и светлинния поток на калибриращата стандартна лампа.



Фиг. 10. Измерване на спектр на изследвана LED лампа



Фиг. 11. Форма и хармоничен състав на тока на изследваната LED лампа

Измерванията се извършват чрез интегриране на фотометричните и цветовете характеристики на светлинните източници в сферата. На фиг. 10 са показани тестови резултати от измерване на спектралния състав на LED лампа, тип E27, 12 W, 1055 lm, 2700

K. Получените резултати съответстват на обявените параметри от производителя.

С помощта на софтуерен продукт LS2020 Digital Power Meter са показани резултати за формата и хармоничния състав на тока на изследваната лампа (фиг. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструктивните параметри на въведените в експлоатация фирмени гониофотометър и интегрираща сфера със спектрорадиометър са съобразени с геометрията на светлотехническата лаборатория и специфичните изисквания към измервания с тях.

Извършената софтуерна конфигурация обезпечава автоматизираното управление и измерване с уредите. Фотометричната точност на детекторите отговарят на повишените изисквания на утвърдените международни стандарти.

Получените резултати от извършените електроенергийни, фотометрични и цветови измервания на LED осветители с гониофотометъра и спектрорадиометъра доказват работоспособността и точността на внедреното оборудване.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the European Regional Development Fund within the OP "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020", Project CoC "Smart Mechatronic, Eco-And Energy Saving Systems And Technologies", № BG05M2OP001-1.002-0023.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] BDS EN 13032-2:2018 – Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires.
- [2] IES LM-79-08 – Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Product, Illuminating Engineering Society, 2007.
- [3] CIE 121-1996 – The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
- [4] Velinov, K. Goniophotometer Modernization with Large Number of Digital Photo sensors. Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Vol. 54/3, 2011.
- [5] Aleksandrov, N. Fundamental Colors Theory. Sofia, East-West, 2012, pp. 93-98.
- [6] CIE 177:2007 – Colour Rendering of White LED Sources.