

Для обчислення колірних зсувів використовується передовий однорідний колірний простір, названий CIE CAM02-UCS.

CIE CAM02-UCS має складну математичну модель, яка дозволяє точно обчислювати колірні відмінності. Ця модель враховує різні умови спостереження (місце і оточення колірного зразка) та хроматичну адаптацію, що робить її більш точною і надійною для оцінки кольору в різних умовах освітлення.

На рисунку 1 представлена схематична діаграма моделі колірності сприйняття за МКО.

Розшифрування ключових значень є такими:

- L
- $Y_A$  – яскравісний фактор венграунда;
- X – яскравість адаптивного поля;

Корельована колірна температура (ККТ) розраховується як колірна температура Планківського випромінювача, найближчого до координат колірності тестового джерела. Вона обчислюється в діаграмі колірності МКО 1960 ( $u, v$ ).

Для джерела світла мультиспектрального ККТ його зупеєсвоє вимірювання і не урівнюється у сприйнятті. Цьому адресується допоміжне вимірювання, яке називається  $D_{uv}$ . Колірне відчуття  $D_{uv}$  – відстань від Планківського локуса для ідентифікації як далеко лежать координати колірності джерела світла.

Досліджується метрика GAI, яка є зручним способом характеризувати в колірному просторі зорове відчуття об'єктів насиченням.

Представлені практичні методи обчислення дають змогу вносити дані відповідних метрик у вітчизняні стандарти для гармонізації з міжнародними.

### Література

1. CIE 2017. Colour Fidelity Index For Accurate Scientific Use. Available at: [http://www.cie.co.at/publications/cie\\_2017-colour-fidelity-index-accurate-scientific-use](http://www.cie.co.at/publications/cie_2017-colour-fidelity-index-accurate-scientific-use) (режим доступу 17.04.2024).

УДК 614.78:535.21

Г.М. Кожушко<sup>1</sup>, д.т.н., професор, Т. В. Сахно<sup>2</sup>, д.х.н., професор, В. І. Назаренко<sup>3</sup>, д.б.н., с.н.с.

<sup>1</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

<sup>2</sup> Полтавський державний аграрний університет

<sup>3</sup> ДУ «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН України», Київ

### ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ З ВРАХУВАННЯМ НЕВІЗУАЛЬНИХ ВПЛИВІВ СВІТЛА

G. M. Kozhushko<sup>1</sup>, Dr.Sc., prof., T. V. Sakhno<sup>2</sup>, Dr.Sc., prof., V. I. Nazarenko<sup>3</sup>, Dr.Sc., senior res.

<sup>1</sup> National University "Poltava Polytechnic named after Yury Kondratyuk"

<sup>2</sup> Poltava State Agrarian University

<sup>3</sup> SI "Kundiiev Institute of Occupational Health of NAMS of Ukraine", Kyiv

### PROBLEMS OF LIGHTING SYSTEMS DESIGN TAKING INTO ACCOUNT THE NON-VISUAL EFFECTS OF LIGHT

Життя на Землі розвивалось у відповідності з природним циклом дня і ночі. Більшість організмів, в тому числі і люди, розвинули добові (циркадні) осцилятори точно

налаштовані на змінні рівні освітленості і їх фізіологія та поведінка контролюється цим циклом. В 2002 році була відкрита різновидність фоторецепторів - фоточутливих гангліозних клітин (pRGC), що пов'язані з супрахіазматичними ядрами (SCN), які формують в мозку савців структуру, що виступає в ролі головного біологічного годинника [1]. При відсутності природних ритмів світла і темноти, зміна яких спричиняється обертанням Землі, цей «годинник» може збитися по фазі, що буде мати несприятливий вплив на здоров'я організму. Найбільш негативним наслідком штучного освітлення в нічний час для людини є порушення біологічних ритмів (хронодеструкція) через пригнічення нічної секреції мелатоніну. Освітлення, що спричиняє хронодеструкцію, можна розглядати як «світлове забруднення». Для вирішення проблеми зменшення негативного впливу невізуальної дії штучного світла проводяться дослідження направлені на створення систем освітлення, що запобігають порушенням циркадних ритмів, які можуть бути спричинені штучним освітленням. Появилось нове поняття – циркадне освітлення. Циркадне освітлення – це стратегія освітлення для підтримування циркадного ритму людини, який регулює фізичні і поведінкові зміни у відповідь на природні добові зміни освітленості (світло-темрява).

Головною проблемою при проектуванні систем освітлення з урахуванням невізуальної дії світла є відсутність офіційно визнаних міжнародних стандартів для опису циркадних характеристик світла. Існує два підходи до створення циркадної фотометрії: - на основі одного фоторецептора (гангліозних клітин сітківки ока) [2]; - на основі всіх п'яťох фоторецепторів (гангліозних клітини сітківки ока, паличок і трьох видів колбочок) [3].

Метод оцінювання циркадної ефективності світла запропонований Gall D.& Bieske K. [2] базується на експериментальних даних пригнічення секреції мелатоніну світлом з різними довжинами хвиль, отриманих авторами досліджень [4,5]. На основі функції циркадної ефективності  $s(\lambda)$  і спектру світла можна розрахувати енергетичні циркадні характеристики даного світла. Відношення циркадних характеристик до фотометричних називають коефіцієнтом циркадної ефективності  $a_{cv}$ . Коефіцієнт  $a_{cv}$  дозволяє проводити порівняння циркадної ефективності світла різної колірності.

В гіпотезі з використанням одного рецептора є ряд обмежень: відсутній часовий фактор впливу циркадного світла; функція циркадної ефективності  $s(\lambda)$  не враховує вклад інших фоторецепторів в pRGC і не враховує нерівномірність функції між 470 і 510 нм, існування якої встановлене експериментально в [4,5]. Через це модель з використанням одного рецептора переоцінює циркадний ефект джерел світла з CCT > 4000 К. Метод простий в застосуванні і використовується для наближених оцінок циркадної ефективності світла.

В наступній таблиці представлено зв'язок між активністю людини, коефіцієнтом  $a_{cv}$ , та корельованою колірною температурою [6].

Діяльність	$a_{cv}$	CCT, К
Моменти спокою, розслаблення	<0,4	< 3300
Види освітлення: офісне, промислове, вуличне, торговельних та навчальних закладів	0,3-0,8	3300-5300
Робота з високими зоровими навантаженнями	>0,7	>5300

Більш пізня модель циркадної фотометрії була запропонована [3] з використанням всіх п'яти рецепторів. Модель є нелінійною, щоб інтерпретувати нерівномірність функції циркадної ефективності між 470 і 510 нм. При цьому враховується ефект спектральної опозиції сигналу синьо-жовтих кольорів, що впливають на відклик сигналів pRGC. Пороговий рівень (мінімальний ефект) і рівень насичення (максимальний ефект) для пригнічення секреції мелатоніну визначається в залежності від кількості світла, що падає на сітківку ока. За допомогою цієї моделі розраховуються еквівалентна циркадна

освітленість (CLA), яка визначається як потік випромінювання на одиницю площі після 1 години його впливу. Це безрозмірна величина, яку можна порівняти з поняттям освітленості. На основі CLA можна розрахувати циркадний стимул C\$, який представляє собою безрозмірну величину від 0,1 до 0,7 одиниці, пропорційну швидкості пригнічення нічного мелатоніну у людей. Слід зазначити, що метрика C\$, також має обмеження: це стосується часових аспектів, таких як тривалість освітлення, часу доби, історії попереднього впливу світла на людей.

Рекомендованою вхідною величиною є спектральна освітленість очей, однак цей метод не враховує модифікацію спектру що досягає очей із-за коефіцієнтів відбиття поверхонь в навколишньому середовищі. Метод складний в практиці проектування систем освітлення, тому він застосовується для дослідження циркадних ефектів.

Незважаючи на відсутність офіційних міжнародних стандартів для опису циркадних характеристик світла в ряді країн світу розроблені стандарти, в яких запропоновані рекомендації щодо освітлення з врахуванням невізуальної дії світла. Наприклад, в Німеччині опублікований стандарт DIN SPEC 5031-100:2015-08 який оцінює вплив світла на секрецію мелатоніну. Досвід використання практики підтримання циркадних ритмів при проектуванні освітлення можна застосувати і в Україні не чекаючи прийняття міжнародних стандартів з циркадної фотометрії. Світлодіодні технології і сучасні автоматичні системи керування зі зміною рівнів освітленості і колірості дозволяють реалізовувати такі проекти.

### Література

1. Berson D.M., Dunn F.A., Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 2002. 295(5557):1070-1073.
2. Gall D., Bieske K. Definition and measurement of circadian radiometric quantities. In *Proceedings of the CIE Symposium '04 on Light and Health*. 2004. 129–132.
3. Rea M. S., et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research & Technology*. 2012. 44(4), 386–396.
4. Brainhard G.C. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor. *Journal of Neuroscience*. 2001. 21, 6405-6412.
5. Thapan K. An action Spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*. 2001. 535, 261–267.
6. Rossi Maurizio. Circadian Lighting Design in the LED Era. *Circadian Lighting Design in the LED*. 2019. 277p.

УДК 621.3

**В.І. Корнага, к.т.н. Д.В. Пекур, Ph.D, ст. досл. В.М. Сорокін, д.т.н, проф., чл.кор. НАНУ**

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА БАЛАНСУВАННЯ LiFePO<sub>4</sub> АКУМУЛЯТОРІВ

**V. Kornaga, Ph.D., D. Pekur, Ph.D., V. Sorokin, Dr. Sci. (Engin.)**

### ENERGY-EFFICIENT LiFePO<sub>4</sub> BATTERY BALANCING SYSTEM

Складна ситуація в енергетиці України спричинила в останній час суттєвий запит на сучасні потужні системи акумуляування енергії в результаті чого збільшилося використання високонадійних LiFePO елементів акумуляторних батарей, які мають значні переваги над іншими. Основними з переваг є велика кількість циклів