

УДК 745/749:628.9

Передумови і перспективи нормування штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини

Л. М. Коваль¹

¹канд. мистецтвознавства, доц., докторант. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

Анотація. У статті аналізуються такі передумови нормування штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини, як поява нових даних стосовно впливу на організм людини світлового випромінювання біологічно-активного видимого діапазону та близького інфрачервоного діапазону, а також широке впровадження LED-технологій, які потенційно є найбільш перспективними стосовно відтворення властивостей природного освітлення, синхронізації з ним та імітації виду з вікна. На основі аналізу відповідних передумов запропоновано перелік актуальних напрямків розвитку нормування штучного освітлення: регулювання наявності в спектрі освітлювальних систем випромінювання біологічно-активного видимого діапазону та близького інфрачервоного діапазону, визначення інтенсивності і тривалості дії цього випромінювання залежно від різних добових періодів; розробка методики кореляції світлових і візуальних характеристик установок штучного освітлення та дійсного виду з вікна; синхронізація освітлювальних норм з нормами щодо застосування технології Li-Fi. Питання енергоефективності систем штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини потребує більш детального розгляду в окремій публікації.

Ключові слова: нормування штучного освітлення, біоритм людини, циркадна система, LED, Li-Fi

Вступ. Під стандартизацією розуміється діяльність, спрямована на досягнення оптимального рівня упорядкованості й узгодженості в певній галузі шляхом встановлення положень для загального і багаторазового використання стосовно наявних або потенційних задач. Відповідно, раціонально організована діяльність зі стандартизації здійснюється лише згідно з результатами фундаментальних досліджень і проектних розробок, які завершилися позитивним науково-технічним результатом [1]. Тому основними передумовами для формування нових норм та стандартів у певній галузі є:

- ✓ широке впровадження нових технологій на основі попередньої апробації в рамках успішного практичного втілення;
- ✓ необхідність врахування можливих наслідків застосування цих технологій.

У галузі освітлення значні зміни відбуваються завдяки широкому застосуванню LED-технологій. Технологічні властивості світлодіодів сприяють їхній високій узгодженості зі складними системами управління освітленням. При цьому можливо керувати як інтенсивністю, так і кольоровою температурою світла. З точки зору потенційних можливостей забезпечення високих показників якості освітлення, ці джерела виводять галузь освітлення на принципово новий рівень. Так, на думку більшості експертів з науково-технічної політики і інвестування коштів [2], революція нано-

технологій (до яких належать і сучасні LED-технології) охопить усі життєво важливі сфери діяльності людини, а її наслідки будуть ширшими і глибшими ніж наслідки комп'ютерної революції.

Одним з найважливіших питань, пов'язаних з освітленням, є його вплив на живі організми (зокрема, на людей). Сучасні методи випробувань і вимірювань дозволяють досліджувати наслідки впливу світла набагато ретельніше. З новими можливостями LED-технологій щодо контролю кольорової температури та передачі кольору ці результати набагато простіше застосовувати на практиці [3]. Наприклад, для рослин можлива зміна світлового спектра опромінення відповідно до кожного етапу їхньої життєдіяльності. Тому CIE (Commission International de l'Éclairage – Міжнародна комісія освітлення) анонсувала початок роботи над майбутньою стандартизацією ряду світлових спектрів щодо їхнього впливу на рослини. Розробляються звіти та інші публікації стосовно штучного освітлення у садівництві [4].

Для позначення освітлення, яке б ураховувало вплив світла на організм і життєдіяльність людини, використовуються різні дефініції, які мають певні нюанси у визначеннях. У цьому контексті вживають вираз «біологічно ефективне освітлення», але поняття «біологічний» охоплює і візуальні процеси. Термін «динамічне освітлення» широко використовується,

якщо колірна температура і освітленість змінюються відповідно до денного світла задля впливу на циркадні ритми людини. Проте, цим же терміном позначається світло, яке змінюється (наприклад, у кольорі), але не має біологічного впливу. Вираз «циркадне освітлення» застосовується, коли освітлення призначене для корекції або стабілізації циркадного ритму людини [4]. Останні декілька років особливого поширення набув термін «орієнтоване на людину освітлення» [5; 6]. Він стосується освітлення, яке відповідає індивідуальним умовам життя та роботи користувача в будь-який час, причому воно задовольняє не лише візуальні вимоги, але й впливає на людину емоційно та біологічно [5].

У даній статті досліджується освітлення, яке підтримує, а не коригує циркадний ритм людини. Стаття базується на положенні, що будь-яке освітлення середовища життєдіяльності людини призначене для задоволення її потреб, а тому є орієнтованим на неї. Таким чином, відповідне штучне освітлення (таке, що враховує вплив світла на організм і життєдіяльність людини) розглядається як освітлення, узгоджене з біоритмами людини.

Перехід на світлодіодні джерела світла та розробка інтелектуальних систем керування освітленням не лише забезпечують високу енергоефективність світлових рішень, а й відкривають абсолютно нові можливості для підтримки функціональних, емоційних та біологічних потреб людини. Пріоритетність використання природного освітлення (з урахуванням додаткового навантаження на системи охолодження в теплий період року), автоматичне налаштування системи штучного освітлення залежно від добових змін денного світла та наявності детекторів присутності значно знижують (до 35%) споживання енергії. З огляду на це, якість освітлення та його енергоефективність не можуть протиставлятися [3].

Актуальність дослідження. Зміни норм є безперервним процесом. Тому важливими питаннями є їхня відповідність [7]

- ✓ сучасному етапу розвитку країни;
- ✓ нормам провідних країн світу.

Першочерговим завданням удосконалення штучного освітлення є впровадження енергоефективних джерел світла [8]. На сьогодні в чинному ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» надана можливість використання як джерел світла світлодіодів як для освітлення міських просторів, так і для загального освітлення приміщень [9]. Наступним кроком у

нормуванні повинна стати низка стандартів та настанов з проектування освітлення, узгодженого з біоритмами людини. У деяких країнах подібні документи вже прийнято, наприклад, DIN SPEC 5031-100 [10], DIN SPEC 67600 [11]. В основу повинен бути покладений системний підхід до вибору принципів проектування світлодіодного освітлення, який дозволить мінімізувати ризики щодо безпеки і здоров'я людини. Сутністю цього підходу є всебічна оцінка ефективності освітлювальних приладів і рівня впливу їхнього випромінювання (у різних діапазонах частот) як на здоров'я людини, так і на середовище її життєдіяльності [8].

Загалом, перехід суспільства до цифрових LED-технологій в освітленні – це зміна парадигми, яка відбувається швидкими темпами і стосується не лише візуального сприйняття та енергетичної ефективності, але й оптимізації біологічного та емоційного впливу світла [5]. Ця тенденція актуалізує необхідність більш повного врахування не візуальних світлових ефектів у відповідних нормативних актах.

Останні дослідження та публікації. Дійсні масштаби залежності організму людини від освітлення стали очевидними лише протягом останніх десятиліть. На важливість досліджень, пов'язаних з впливом світла на біологічний годинник людини, вказує те, що у 2017 р. Джефрі К. Холл, Майкл Росбаш та Майкл У. Янг (Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash and Michael W. Young) були удостоєні Нобелівської премії з медицини за роботу над механізмом, відомим як «циркадний ритм» [12; 13; 14]. Відкриття гангліозних клітин (ipRGC – внутрішні фотоочутливі гангліозні клітини сітківки [14]), чутливих до синіх спектральних довжин хвиль, і механізму їхнього функціонування викликало різке зростання досліджень фотобіології та психології, особливо в області циркадного регулювання [15].

Зростає кількість джерел, які вказують на те, що світло через циркадний ритм може впливати як на продуктивність, так і на здоров'я людей [16, с. 85-87]: сезонне скорочення кількості денного світла взимку в крайніх північних та південних широтах може викликати депресію – сезонний афективний розлад (САР) або «зимову меланхолію»; добове чергування світла і темряви значно впливає на якість сну, крайні випадки порушень якого діагностуються як синдром затримки сну.

У багатьох дослідженнях останніх років висловлюється занепокоєння щодо впливу синього світла на біологічний годинник людини у ве-

чірній та нічний період доби і виникнення через це циркадних порушень. Проблема стосується галузі освітлення загалом, і, зокрема, електронних дисплеїв. Адже типові дисплеї з корельованою колірною температурою близько 6500 К та інтенсивним синім піком забезпечують значну циркадну стимуляцію. Тому використання дисплеїв напередодні сну може негативно впливати на його якість. Однак, застосування світлодіодних технологій з мінімальним вмістом синього кольору у загальному спектрі їхнього світлового випромінювання забезпечує шлях до успішного вирішення цієї проблеми [17; 18]. В окремих публікаціях акцентується увага на особливому значенні для нормального функціонування організму людини випромінювання ближнього інфрачервоного спектрального діапазону [19].

Важливою подією в галузі нормування освітлення став вихід нового європейського стандарту щодо природного освітлення будівель EN-17037 [20; 21]. У контексті даного дослідження найважливішим нововведенням цього стандарту є уніфікація критеріїв оцінки внутрішнього природного освітлення і штучного освітлення заміною коефіцієнта природного освітлення (КПО) на абсолютні значення освітленості відповідно до різноманітних зорових завдань, як це прийнято відносно штучного внутрішнього освітлення [22]. Це може слугувати першим кроком до синхронізації показників природного і штучного світла у системах суміщеного освітлення, які є одним з основних засобів забезпечення освітлення, узгодженого з біоритмами людини.

Практична апробація положень щодо біологічно ефективного та орієнтованого на людину освітлення на рівні втілених проектів в основному стосується медичних закладів, серед яких будинки для літніх людей [6; 23], та шкільних приміщень [24]. З огляду на те, що природне освітлення традиційно вважається найбільш сприятливим для комфортного самопочуття людини, зростає кількість установок штучного освітлення, що його імітують [25-29]. Дослідження в цьому напрямку проводяться переважно виробниками таких імітаційних систем [30]. Однак, на сьогодні повне узгодження світлових і візуальних характеристик штучної системи освітлення як з динамікою природного світла, так і з динамікою дійсного виду з вікна, при одночасному застосуванні з системою природного освітлення не забезпечується.

Під енергоефективністю слід розуміти відношення вихідної продуктивності, послуг,

товарів або енергії до вхідної енергії [31]. Тоді чим більшою є кількість функцій, які здатна виконувати одна освітлювальна установка без значного підвищення енерговитрат, тим більш енергоефективною вона є. З огляду на це, можна прогнозувати подальше поєднання функцій освітлення та бездротової комунікації Li-Fi в межах одного світлодіодного світильника.

Формулювання цілей статті. Метою статті є визначення перспектив стосовно нормування штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини, на основі аналізу відповідних передумов такого розвитку норм з освітлення.

Основна частина. Освітлювальна промисловість останніх кількох років орієнтована на створення продуктів, здатних позитивно впливати на циркадний ритм людини (наприклад, [32]). Такі освітлювальні системи, як правило, сприяють високій світловій стимуляції вранці та обмежують її за кілька годин до сну [17]. Циркадний ритм людини, синхронізований із сонячним добовим циклом, регулює не лише періоди активності та відпочинку, біоритми, а й фізіологічні функції на клітинному рівні [16, с. 80-87]. На рис. 1 подано декілька етапів циркадного біологічного годинника людини [13].



Рис. 1. Етапи циркадного біологічного годинника людини [13]

Донедавна вважалося, що сприйняття світла (фоторецепція) відбувається тільки за допомогою двох видів клітин сітківки – палички і колбочки. Однак, сучасні фотобіологи ідентифікували внутрішні фоторецепторні гангліозні клітини сітківки (ipRGCs), максимально чутливі до синьо-блакитного світла, з піком близько 460-490 нм [17]. Палички і колбочки виявляють форму й колір та передають цю інформацію візуальній корі. ipRGCs виявляють опромінення і спрямовують свою інформацію до багатьох структур мозку, серед яких найретельніше вивчене супрахізматичне ядро гіпоталамуса. Завдяки сигналам «світла і темряви», що до нього надходять, цим ядром контролюється вироблення гормону мелатоніну, яким регулює-

ться циркадний ритм. Таким чином, світло, одержуване оком, перетворюється на нейронні сигнали, які проходять через оптичний нерв двома шляхами, один – візуальний, другий – невізуальний [15]. Тому при оцінці доречності будь-якого способу освітлення слід враховувати фізичні властивості світла, які по-різному впливають на дві біологічні системи людини – візуальну та циркадну. Порівняно з візуальною системою, яка є основою звичайної фотометрії, для активації циркадної системи необхідний значно вищий рівень освітлення сітківки, довший часовий проміжок впливу, а її чутливість до світла залежить від часу доби [16].

Напрямок, за яким світло потрапляє в очі, є особливо важливим для забезпечення біологічного впливу. Поле зору людини в закритих приміщеннях має кутовий діапазон близько 70° нижче лінії видимості і до 55° вище лінії видимості. Найчастіше лінія зору спрямована вниз, оскільки візуальне завдання, зазвичай, зосереджене в нижній частині поля зору. Оскільки освітлення в межах візуального завдання в першу чергу повинно відповідати візуальним вимогам, не рекомендується планувати у цій області додаткове освітлення для забезпечення біологічного впливу. Якщо врахувати, що чутливість фоторецепторів до біологічних світлових ефектів вище в нижній області сітківки (рис. 2), то діапазон найвищої біологічної ефективності світла становить від мінус 15° до 45° [5].

З огляду на це, при проектуванні систем штучного освітлення рекомендується зосереджувати велику кількість світла у верх-

ній частині поля зору. Цього можна досягти використанням:

- великих світлових площ (наприклад, світлових стель);
- світильників непрямого світла, які освітлюють стелю і верхню третину стін;
- підсвічування світлорозсіювальних матеріалів у світних стінах і декоративному оздобленні інтер'єру;
- непрямого світла в меблях і предметному наповненні приміщення [3].

На сьогодні, основним підходом щодо кількісної оцінки впливу штучного світла на циркадну систему є обчислення ефективної кількості циркадної стимуляції шляхом порівняння спектра випромінювання джерела з так званим циркадним спектром дії $S_{mel}(\lambda)$. Результат такого розрахунку називають меланопічним люксом за аналогією з відомим люксом за кривою $V(\lambda)$ фотопічної чутливості (рис. 3). Два джерела однакової освітленості можуть мати різний меланопічний люкс, який вказує на відносний потенціал впливу цих джерел на циркадну систему [17].

Для підтримки циркадного ритму важливо, щоб меланопічний рівень ранкового і денного освітлення був вищим ніж увечері. Для цього впродовж декількох ранкових годин повинна забезпечуватися освітленість ока $300\dots500$ лк з колірною температурою не менше 5500 К. За дві години до сну рекомендується рівень освітленості ока до 50 лк, а колірна температура – $2700\dots3000$ К з мінімізованими синіми компонентами світлового спектра [5].

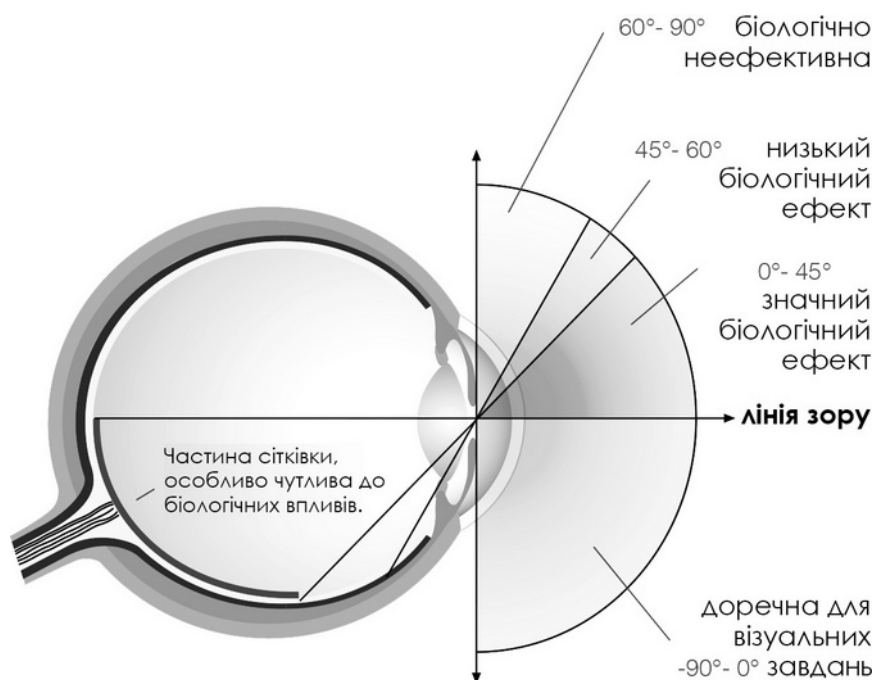


Рис. 2. Чутливість фоторецепторів (за [5, с. 19])

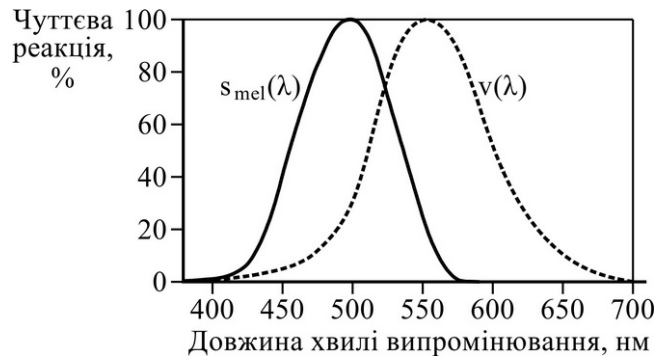


Рис. 3. Функції спектральної чутливості [3]:

Критичні значення для меланопічного рівня, люкс, на оці такі: для активації – понад 250 меланопічних люкс; для релаксації – менше 100 меланопічних люкс [14]. Мінімальні значення меланопічного номінального рівня освітленості ока згідно з DIN SPEC 5031-100 наведено в табл. 1. Також зазначено коефіцієнт перетворення, що дозволяє конвертувати фотометричне значення в номінальне значення меланопічного люкса [5].

Ефективним методом підтримки циркадного ритму є оптимізація рівнів природного освітлення у випадках його недостатньої кількості за рахунок доповнення світлом штучних джерел [6]. Світлодіоди забезпечують необхідний світловий спектр і є легко керованими за допомогою інтелектуальних систем управління [3]. У зв'язку з цим значно зросло значення суміщеного освітлення [42].

При проектуванні суміщеного освітлення спірним моментом є визначення єдиного критерію оцінки природного і штучно освітлення. У чинних нормах визначена величина коефіцієнта природного освітлення в системі суміщеного освітлення [9]. Однак, у розрахункову точку приміщення надходить як природне світло, так і світло від штучних джерел. Тому, має бути єдиний параметр, який характеризує загальну насиченість світлом у точці. Він залежить від характеру зорової роботи, контингенту людей,

тривалості їхнього перебування в цьому приміщенні тощо [42].

Тим часом, новий європейський стандарт щодо природного освітлення будівель EN-17037 пропонує уніфікацію критеріїв оцінки внутрішнього природного і штучного освітлення заміною коефіцієнта природного освітлення на абсолютні значення освітленості відповідно до різноманітних зорових завдань. Також цим стандартом передбачена можливість використання в приміщеннях з недостатнім природним освітленням додаткового штучного освітлення.

При суміщенні природного і штучного освітлення останнє повинно бути адаптованим до природного. Імітація природного освітлення за допомогою штучних джерел світла вимагає створення установок, спроможних забезпечити світлові умови, близькі до мінливого природного освітлення з відповідним впливом на організм людини [22].

Протягом дня природне освітлення всередині будівель безперервно змінюється як за інтенсивністю, так і за просторовим розподілом. Основними джерелами світла при цьому є сонце і небо [22]. Тому яскравість денного світла значно змінюється не лише залежно від часу доби, але і від географічного положення, погоди та сезону [3].

Таблиця 1

Витяг з DIN SPEC 5031-100 - конвертаційне значення $m_{v, mel, D65}$, яке дозволяє перетворювати фотометричне значення фотопічної чутливості згідно з кривою $V(\lambda)$ у відповідне номінальне значення меланопічного люкса [5]

Джерело світла	Конвертаційне значення $m_{v, mel, D65}$ (залежить від спектра джерела світла)	Приклад освітленості ока	Номінальний меланопічний рівень освітленості ока
LED, 2.700 K	0,41	50 лк	20 лк
LED, 4.000 K	0,63	380 лк	240 лк
LED, 6.500 K	0,80	300 лк	240 лк
Люмінесцентна лампа, 8.000 K	0,96	250 лк	240 лк

Результати довготривалих вимірювань яскравості неба і природної освітленості, які проводилися через певні проміжки часу в різних точках земної кулі, дозволили описати світловий клімат в усьому світі. Тому в області природного освітлення розширення кількості варіантів стандартного неба від похмурого до ясного була успішно реалізована.

Отримано 15 типів неба, які на сьогодні прийняті і CIE і Міжнародною організацією щодо стандартизації (ISO) [22]. Ці результати можуть бути використані для вдосконалення систем штучного освітлення, націлених на відтворення природної динаміки денного світла за допомогою автоматизованих системи контролю. Ці системи самостійно враховують час доби протягом року і широту місцевості [14]. Сучасні програми управління динамічним освітленням використовують переважно зміни освітленості та кольорової температури [3; 17]. Також у приміщеннях постійного перебування людей має забезпечуватися відповідний вид назовні, який ділиться на три стандартні категорії: вид на небо, вид на ландшафт і вид на землю.

Найважливішою для зору людини категорією є вид на небо, оскільки акомодация очей на нескінченність і колір неба стимулює діяльність різних органів [22]. Різні варіанти сучасних систем світлодіодного освітлення забезпечують імітацію усіх категорій виду з вікна. Однак, на сьогодні поки що не вирішеним залишається питання гармонійного узгодження світлових і візуальних параметрів цих імітаційних систем з дійсними світловими і візуальними параметрами системи природного освітлення, якщо вона також використовується у даному приміщенні.

За вищезазначеним можна констатувати, що чим краще штучне освітлення імітує денне світло, тим приємнішим і досконалішим воно відчувається людьми [14]. Відповідні меланопічні ефекти при цьому досягаються такими основними шляхами [3]:

- ✓ вищою освітленістю;
- ✓ вищим вмістом випромінювання синього діапазону в загальному спектрі;
- ✓ змінним у часі динамічним освітленням;
- ✓ правильним часом дії (адже біологічний невізуальний вплив світла найбільш ефективний вранці і може бути шкідливим для циклу сну-бадьорості ввечері).

Окрім даних щодо впливу світла (діапазон активності 420-500 нм) на мелатонін, який виробляється шишкоподібною залозою, на сьогодні також відомо, що в багатьох клітинах мелатонін виробляють мітохондрії. С. Ціммерман і Р. Дж. Райтер (S. Zimmerman and R. J. Reiter) припускають [19], що субклітинний мелатонін виробляється у відповідь на фотони ближнього інфрачервоного випромінювання (діапазон активності 650...1200 нм), які становлять більшість (з точки зору фотохімії понад 70 %) сонячного світла. Дослідження проводилося за допомогою тривимірних механістичних біооптичних моделей шкіри, очей і мозку, що базувалися на застосуванні не послідовного трасування оптичних променів і даних електронного спінового резонансу (наданих Zastrow [33; 19]).

У результаті зроблено висновок, що близький інфрачервоний спектральний діапазон природного сонячного світла впливає на 60 % клітин у дорослому тілі і 100 % клітин у плода і маленьких дітей. Другим висновком є те, що людський організм розробив оптичні механізми для збору та локалізації фотонів близького інфрачервоного діапазону, які можуть проникати вглиб тіла людини в середньому не менше ніж на 8 см, тоді як фотони ультрафіолетового і видимого діапазонів оптично локалізуються на зовнішніх поверхнях. Моделі продемонстрували, що діти та плід мають більш високі рівні впливу ближнього інфрачервоного випромінювання на мозок і внутрішні органи, порівняно з дорослими. Цей оптичний ефект необхідно враховувати в когнітивних та навчальних ситуаціях [19].

На рис. 4 наведено порівняння оптичних моделей темної шкіри з високим вмістом меланіну (43 %) та світлої шкіри з низьким вмістом (1,3 %) під дією опромінення фотонами ближнього інфрачервоного діапазону [19].

Також С. Ціммерман і Р. Дж. Райтер висловлюють думку, що велика кількість випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону від теплових джерел взагалі, та полум'я зокрема, повинна бути корисною для здоров'я людини, оскільки з самого початку культурного і цивілізаційного розвитку це перше штучне джерело світла супроводжувало еволюцію людства.

Однак, якщо звернутися до міфів, які за К. Юнгом є виразниками колективного несвідомого [34], то можна констатувати, що оцінка стародавніми людьми впливу вогню на їхній психофізіологічний добробут не була однозначною.

Історичною основою для появи міфу про Прометея могла слугувати еволюція первісного суспільства, перехід людини до цивілізації [35].

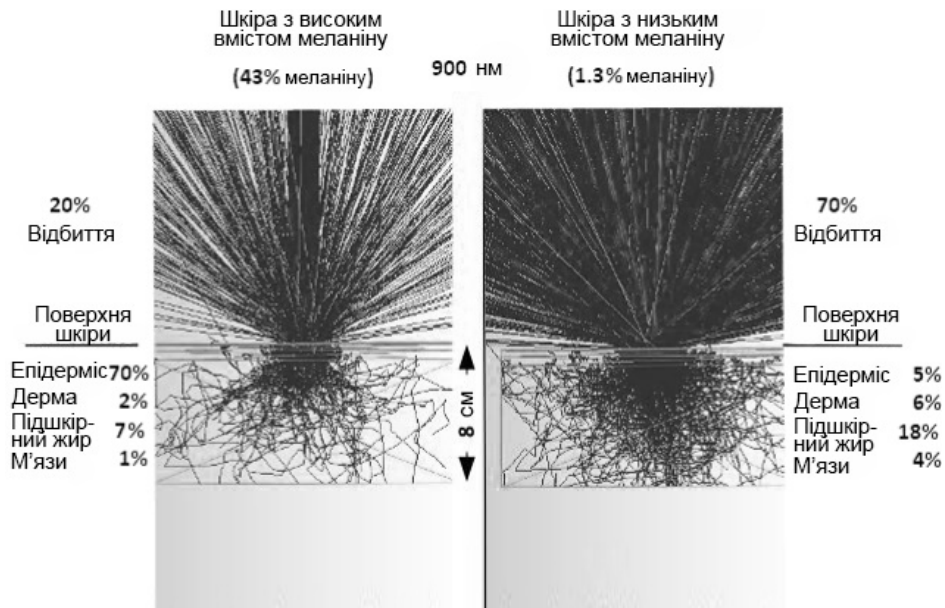


Рис. 4. Оптичні моделі шкіри з різним вмістом меланіну (за [19])

Якщо трактувати жест передачі людям вогню Прометеем як каталізатор чи наслідок появи в результаті еволюційного розвитку якоїсь нової, особливої функції в роботі людського мозку, то, згідно зі змістом міфу [36], це означало:

1. Позитивні зрушення в культурному, соціальному, когнітивному напрямку [36].

2. Негативні наслідки на фізіологічному рівні і для Прометейя [36], і для людей [36].

Таким чином, вважати корисною у період після заходу сонця велику кількість ближнього інфрачервоного випромінювання, аналогічного до випромінювання полум'я та теплових джерел (наприклад, ламп розжарювання), передчасно. Полум'я подовжило світловий день людини, створило умови для спілкування, обміну досвідом та зародження суспільства як такого, проте фізіологічний вплив його оптичного випромінювання на людський організм поки що вивчений недостатньо. А як нестача, так і надлишок будь-якого випромінювання оптичного діапазону може бути шкідливим.

З іншого боку, якщо спиратися на природне денне освітлення (світло сонця і небозводу) як на найбільш сприятливе і безпечне для людини, то необхідно визнати важливість [19] присутності у приміщеннях достатньої кількості ближнього інфрачервоного випромінювання у період від сходу і до заходу сонця, не залежно від застосовуваного виду (природне, суміщене чи штучне) освітлення.

Під природним сонячним світлом фотони ближнього інфрачервоного випромінювання забезпечують захист від пошкоджень, індукованих на основі щільності утворення

вільних радикалів фотонами як ультрафіолетового, так і видимого діапазону. Оскільки всі біооптичні процеси в організмі мають фотохімічну природу, то відповідно до дози опромінення 8 годин перебування в офісі (750 лк) сприяє утворенню такої ж кількості вільних радикалів, як і 30 хвилин перебування на сонці (76000 лк). Але природне світло сонця з високим вмістом фотонів ближнього інфрачервоного випромінювання забезпечує пропорційну та локальну реакцію, стимулюючи антиоксидантну реакцію організму [19]. А сучасні системи штучного освітлення, орієнтовані на забезпечення світлового випромінювання виключно видимого діапазону, позбавлені цього компенсаторного механізму.

Наукове припущення стосовно того [19], що внутрішньоклітинний мелатонін, який виробляється під дією ближнього інфрачервоного випромінювання, нейтралізує дію вільних радикалів, які утворюються в тканинах людини не лише під дією ультрафіолетового випромінювання, а й під впливом випромінювання видимого діапазону, може підтвердитися в майбутніх дослідженнях. Тоді, згідно з цією гіпотезою, для забезпечення такого ж позитивного впливу на організм людини при штучному освітленні, як і при природному освітленні, кількість ближнього інфрачервоного випромінювання повинна бути достатньою для нейтралізації шкідливої дії оптичного випромінювання штучних джерел світла.

У майбутньому наслідком такого підходу повинен стати більш широкий погляд на циркадну систему з урахуванням як мелатоніну, що циркулює, так і субклітинного мелатоніну:

мелатонін, що циркулює, стимулюється відсутністю світла (“Hormone of Darkness”), а субклітинний мелатонін може бути стимульований наявністю світла (“Hormone of Daylight”). Опієнтовні співвідношення оптичної потужності ближнього інфрачервоного до видимого діапазону становлять: 3/1 – при сході сонця, 1/1 – опівдні, 3/1 – на заході сонця, 10/1 – для багаття та теплових джерел світла [19].

Відповідно до базового положення, що чим краще штучне освітлення повторює якості природного світла, тим сприятливішим воно є для комфортного самопочуття людини, системи штучного освітлення мають містити окрім джерел видимого випромінювання також джерела випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону. При цьому пропорційні співвідношення їхньої оптичної потужності повинні повторювати вищенаведені співвідношення для природного світла відповідно до різних добових періодів. Сучасні LED-технології здатні забезпечити таку вимогу, адже пропонують широку різноманітність світлодіодів з випромінюванням у ближньому інфрачервоному діапазоні (рис. 5).

Завдяки застосуванню світлодіодів з високою яскравістю як джерел для освітлення, з'явилася можливість створення бездротових мереж на основі технології Li-Fi. Це технологія бездротового зв'язку використовує інфрачервону і видиму частини оптичного діапазону електромагнітного спектра для високошвидкісної передачі даних [38]. На сьогодні технологія Li-Fi вже застосовується на практиці (наприклад, [39]) та вважається дуже перспективною. Адже загальний спектральний діапазон інфрачервоного і видимого випромінювання приблизно в 2600 разів більше, ніж весь радіочастотний діапазон [38]. Крім цього, відсутність шкоди для здоров'я від електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону на сьогодні не доведена. Винахідником технології Li-Fi і просторової модуляції, яка лежить в основі принципу її дії, є професор Харальд Хаас (Harald Haas) [40].

Необхідно зазначити, що технологічні рішення у світлодіодному освітленні, які є сприятливішими для освітлювальних систем, синхронізованих з біоритмами людини, є доречнішими і для освітлення з додатковою функцією Li-Fi. Так, у Li-Fi швидкість передачі даних залежить як від застосованої технології цифрової модуляції, так і від технології освітлення. Набагато швидша передача забезпечується при утворенні сумарного білого світла за рахунок оптичного змішування випромінювання

червоного, зеленого та синього (RGB) світлодіодів (порівняно зі швидкістю передачі даних при використанні білих світлодіодів, виготовлених за поширеною технологією накладання жовтого люмінофора на світлодіод з синім випромінюванням).

Якщо гіпотеза стосовно надзвичайної важливості присутності ближнього інфрачервоного випромінювання у повсякденному світловому середовищі людини підтвердиться, то введення у системи освітлення додаткових світлодіодів з випромінюванням у цьому спектральному діапазоні добре узгоджується з використанням інфрачервоної частини оптичного діапазону для передачі даних у системах Li-Fi.

Існує можливість використовувати приймачі Li-Fi на сонячних елементах, де сонячні елементи діють як приймачі даних, і в той же час збирають сонячне світло як енергію. Це підтримує загальну концепцію щодо підвищення енергоефективності світлодіодного освітлення за рахунок використання для його живлення фотоелектричних елементів (сонячних батарей).

При використанні технології Li-Fi, і передача даних, і забезпечення освітлення відбувається за допомогою одного і того ж самого пристрою. Тому на сьогодні прогнозується, що Li-Fi стане поштовхом для злиття галузей бездротового зв'язку та освітлення. Важливою передумовою подальшого впровадження технології Li-Fi є наявність стандартів. Саме у напрямку стандартизації технології Li-Fi розпочалася робота в IEEE 802.15.7, IEEE 802.11, ITU-R [38]. Зокрема, на сьогодні існує робоча група щодо світлових комунікацій у межах 802.11bb [41].

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що передумовами для розробки норм штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини, є поява нових даних стосовно впливу на організм людини світлового випромінювання біологічно-активного видимого діапазону та близького інфрачервоного діапазону, а також широке впровадження світлодіодних технологій. Останні потенційно є найбільш перспективними стосовно відтворення властивостей природного освітлення, синхронізації з ним та імітації виду з вікна. Ці передумови окреслюють наступні актуальні напрямки розвитку норм зі штучного освітлення: регулювання наявності в спектрі освітлювальних систем випромінювання біологічно-активного видимого діапазону та близького інфрачервоного діапазону, визначення інтенсивності і тривалості дії цього випромінювання

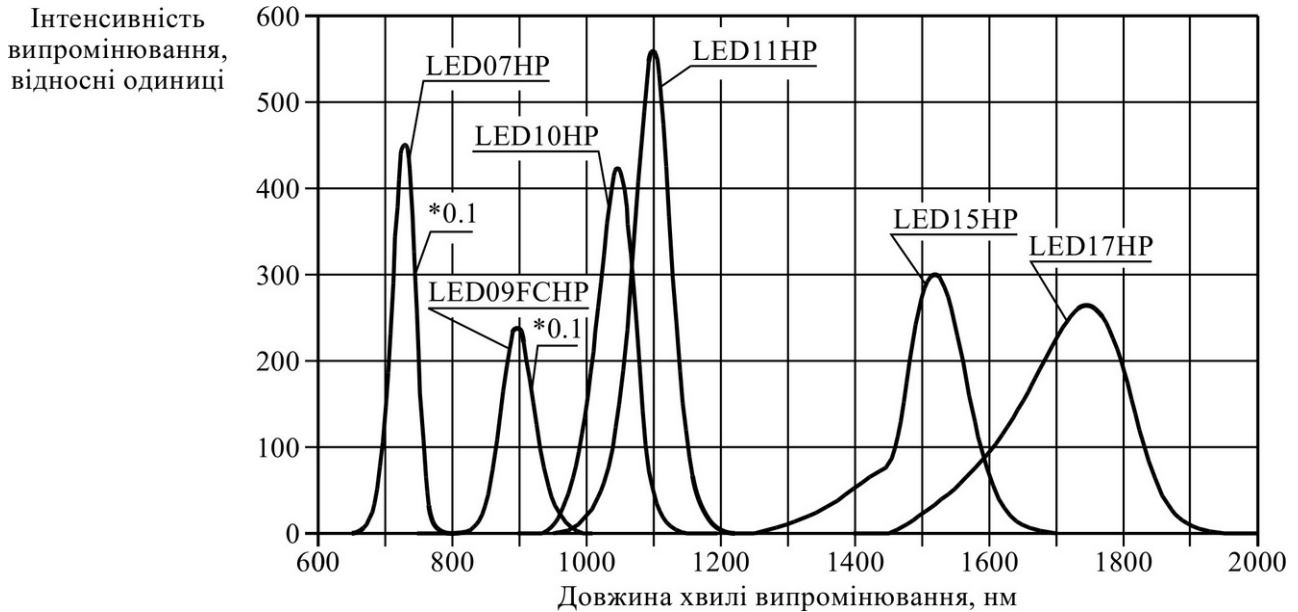


Рис. 5. Спектри випромінювання сучасних світлодіодів ближнього інфрачервоного діапазону [37]

залежно від різних добових періодів; розробка методики кореляції світлових і візуальних характеристик установок штучного освітлення та дійсного виду з вікна; синхронізація освітлювальних норм з нормами щодо застосування технології LiFi.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому доцільно дослідити питання відповідності систем штучного освітлення, узгодженого з біоритмами людини, вимогам щодо рівня енергоефективності сучасних будівель.

Література

1. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: учебник для студентов вузов / А. В. Архипов и др.; под ред. В. М. Мишина. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 447 с.
2. Пул Ч. Нанотехнологии. 4-е издание, исправл. и дополн. / Ч. Пул, Ф. Оуэнс; пер. с англ. под. ред. Ю. И. Головина. – Москва: Техносфера, 2009. – 336 с.
3. Impact of Light on Human Beings. Licht.wissen 19. – Frankfurt am Main: Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.v., 2014. – 56 p.
4. Horticultural Lighting - The Root to International Standards // LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology. – 2019. – Iss. 73. – P. 30-31.
5. Guide to Human Centric Lighting (HCL). Licht.wissen 21. – Frankfurt am Main: Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.v., 2018. – 40 p.
6. Chien Szu-Cheng. Implications for Human-Centric Lighting Design in Tropical Nursing Homes: A Pilot Study / Szu-Cheng Chien // LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology. – 2019. – Issue 71. – P. 40-47.
7. Сергейчук О. В. Історія та перспективи розвитку норм з енергоефективності будівель в Україні / О. В. Сергейчук // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2017. – Вип. 9. – с. 211-221.
8. Сергейчук О. В. Основные задачи усовершенствования нормативной базы по освещению биосферосовместимого строительства / О. В. Сергейчук // Вопросы теории биосферной совместимости городов и поселений. Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». – 2015. – Вип. 3(11). – с. 7-17.
9. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. – Чинні від 01.03.2019. – Київ: Укрархбудінформ, 2018. – 137 с.
10. DIN SPEC 5031-100:2015. Optical radiation physics and illuminating engineering – Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings - Quantities, symbols and action spectra. – Publication Date: August 2015. – German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2015. – 33 p.
11. DIN SPEC 67600:2013 Biologically effective illumination – Design guidelines. – Publication Date: April 2013. – German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2013. – 68 p.
12. Nobel Prize 2017: the powerful effect of light on circadian rhythm / Latest news // Diatal (lighting innovator) [Electronic Resource]. – URL: <https://www.diatal.com/en/news-en/nobel-prize-2017-the-powerful-effect-of-light-on-circadian-rhythm-9262>.
13. Uddin MS. Circadian Rhythms: Biological Clock of Living Organisms / Uddin MS., Al. Mamun A. // Biol Med

(Aligarh). – 2017. – Vol. 10 (1). – P. 129. – <http://doi.org/10.4172/0974-8369.1000e129>

14. Haumer Peter. Healthy Light - LED Technology for Health and Care Applications / Peter Haumer // LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology. – 2019. – Iss. 71. – p. 68-73.

15. CIE Calls for Focused Research Efforts to Support Healthful Lighting Recommendations [Електронний ресурс] // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies). – URL: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/cie-calls-for-focused-research-efforts-to-support-healthful-lighting-recommendations>.

16. Green Schools: Attributes for Health and Learning. – Washington: National Academy of Sciences USA, 2007. – 192 p.

17. Aurelien David. Circadian-Friendly Light Emitters: From CCT-Tuning to Blue-Free Technology / David Aurelien // LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology. – 2019. – Iss. 71. – p. 58-63.

18. Gringras P. Bigger, Brighter, Bluer-Better? Current light-emitting devices – adverse sleep properties and preventative strategies / P. Gringras, B. Middleton, DJ. Skene, VL. Revell // Frontiers in Public Health. – 2015. – Vol. 3. – article 233. – <http://www.doi.org/10.3389/fpubh.2015.00233>

19. Zimmerman S. Melatonin and the Optics of the Human Body / Scott Zimmerman, Russel J. Reiter // Melatonin Research. – 2019. – Vol. 2 (1). – p. 138-160. – <http://www.doi.org/10.32794/mr11250016>

20. BS EN 17037:2018. Daylight in buildings. – Publication Date: 07.05.2019. – British Standards Institution (BSI). – 2019. – 70 p.

21. Paule B. A lighting simulation tool for the new European daylighting standard / B. Paule, J. Boutillier, S. Pantet, Y. Sutter // International Building Simulation Association England: 4th Building Simulation and Optimization Conference, Cambridge, September, 11-12, 2018. – Cambridge (UK). – 2018. – P. 032-037.

22. Дарула С. Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения / С. Дарула // Светотехника. – 2019. – №. – с. 6-20.

23. Research and practice evidence. Chromaviso [Electronic Resource]. – URL: <https://chromaviso.com/en/circadian-lighting/research-in-circadian-lighting/>.

24. Helping students stay focused. Philips [Electronic Resource]. – URL: http://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/education/wintelre_

25. Artificial Sky [Electronic Resource]. – URL: <http://www.artificialsky.com>.

26. CoeLux [Electronic Resource]. – URL: <https://www.coelux.com/en/home-page/index>.

27. Ewinlight [Electronic Resource]. – URL: <http://www.ewinlight.com/>

28. Sky Factory [Electronic Resource]. – URL: <https://www.skyfactory.com/>.

29. Indiegogo. Sunlight LED Window [Electronic Resource]. – URL: https://www.indiegogo.com/projects/sunlight-led-window-light#.

30. Sky Factory. Education [Electronic Resource]. – URL: <https://www.skyfactory.com/education/>

31. Erbach G. Understanding energy efficiency [Electronic Resource] / Gregor Erbach // European Parliamentary Research Service (EPRS): PE 568.361. Briefing, October 2015. – 10 p. – URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI\(2015\)568361_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/EPRS_BRI(2015)568361_EN.pdf)

32. Lumileds Enables Next Step in Human Centric Lighting with Launch of Luxeon Fusion [Electronic Resource] // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies). – URL: <https://www.led-professional.com/products/led-modules-led-light-engines/lumileds-enables-next-step-in-human-centric-lighting-with-launch-of-luxeon-fusion>.

33. Zastrow L. Free radical threshold value: A new universal body constant / Zastrow L, et al. // Skin Pharmacology and Physiology. – 2015. – Vol. 28 (5). – p. 264-268. – <http://www.doi.org/10.1159/000435893>

34. История мировой философии: учеб. пособие / А. И. Алешин, К. В. Бандуровский, В. Д. Губин и др.; под ред. В. Д. Губина, Т. Ю. Сидориной. – Москва: Астрель: АСТ: ХРАНИТЕЛЬ, 2007. – 494 с.

35. Антична література: підруч. для студ. педагогічних інститутів. – Київ: Вища школа, 1976. – 439 с.

36. Гловацька К. І. Міфи Давньої Греції: для серед. та ст. шк. віку / К. І. Гловацька. – Київ: Веселка, 1986. – 239 с.

37. Мощные светодиоды 0,7-1,74 мкм. Компания ООО «АИБИ» (IBSG Co., Ltd.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ibsg.ru/led/led.html>.

38. Haas Harald. LiFi as a Paradigm-Shifting 5G Technology / Harald Haas // LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology. – 2019. – Issue 73. – p. 54-61.

39. Signify Launches Trulifi High-Speed Commercial LiFi System for Their Luminaires [Electronic Resource] // LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies). – URL: https://www.led-professional.com/project_news/lamps-luminaires/signify-launches-trulifi-high-speed-commercial-lifi-system-for-their-luminaires.

40. PureLiFi [Electronic Resource]. – URL: <https://purelifi.com/company/>

41. IEEE Task Force Works on Global LiFi Standard for Light: The new guidelines for LiFi are to enhance IEEE 802.11 Wi-Fi standard / pureLiFi [Electronic Resource]. – URL: <https://purelifi.com/lifi-is-getting-a-global-standard/>

42. Сторченков В. Аналіз заходів з підвищення енергоефективності у новій редакції норм з природного і штучного освітлення / В. Сторченков, Л. Коваль, Д. Радомцев, О. Сергейчук // Інтегровані енергоефективні

технології в архітектурі та будівництві: тези доповідей дев'ятої міжнародної науково-практичної конференції «Енергоінтеграція-2019», 24-26 квітня 2019 р., Київ, Україна. – 2019. – С. 6-7.

References

1. Arhipov A. V. i dr. *Osnovy standartizatsii, metrologii i sertifikatsii*. YuNITI-DANA, 2007.
2. Pul Ch., Ouens F. *Nanotehnologii*. Tehnosfera, 2009.
3. *Impact of Light on Human Beings. Licht.wissen 19*. Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.v., 2014.
4. “Horticultural Lighting - The Root to International Standards.” *LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology*. 2019. Iss. 73. P. 30-31.
5. Guide to Human Centric Lighting (HCL). *Licht.wissen 21*. Fördergemeinschaft Gutes Licht – eine Brancheninitiative des ZVEI e.v., 2018.
6. Chien Szu-Cheng. “Implications for Human-Centric Lighting Design in Tropical Nursing Homes: A Pilot Study.” *LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology*. 2019. Iss. 71. P. 40-47.
7. Sergeichuk O. V. “Istorlia ta perspektivy rozvytku norm z energoefektivnosti budivel v Ukraini.” *Energoefektivnist v budivnitstvi ta arhitekturi*. 2017. Vyp. 9. P. 211-221.
8. Sergeichuk O. V. “Osnovnye zadachi usovershenstvovaniia normativnoi bazy po osveshcheniu biosferosovmestimogo stroitelstva.” *Voprosy teorii biosfernoi sovmestimosti gorodov i poselenii. Biosfernaia sovmestimost: chelovek, region, tehnologii*. 2015. Vyp. 3(11). FGBOU VO «Yugo-Zapadni gosudarstvennyi universitet». pp. 7-17.
9. *Pryrodne i shtuchne osvittlenia*. DBN V.2.5-28-2018, Ukrarkhbudininform, 2018.
10. *Optical radiation physics and illuminating engineering - Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings - Quantities, symbols and action spectra*. DIN SPEC 5031-100:2015, German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2015.
11. *Biologically effective illumination - Design guidelines*. DIN SPEC 67600:2013, German Institute for Standardisation (Deutsches Institut für Normung), 2013.
12. Nobel Prize 2017: the powerful effect of light on circadian rhythm. *Dietal (lighting innovator)*. <https://www.dietal.com/en/news-en/nobel-prize-2017-the-powerful-effect-of-light-on-circadian-rhythm-9262>.
13. Uddin MS. “Circadian Rhythms: Biological Clock of Living Organisms.” *Biol Med (Aligarh)*. 2017. Vol. 10 (1). P. 129. <http://doi.org/10.4172/0974-8369.1000e129>
14. Haumer Peter. “Healthy Light - LED Technology for Health and Care Applications.” *LED professional Review*, Iss. 71, Luger Research e.U. Institute for Innovation & Technology, 2019, pp. 68-73.
15. CIE Calls for Focused Research Efforts to Support Healthful Lighting Recommendations. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/cie-calls-for-focused-research-efforts-to-support-healthful-lighting-recommendations>. Posted by 25 September 2017.
16. *Green Schools: Attributes for Health and Learning*. National Academy of Sciences USA, 2007.
17. Aurelien David. “Circadian-Friendly Light Emitters: From CCT-Tuning to Blue-Free Technology.” *LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology*. 2019. Iss. 71. P. 58-63.
18. Gringras P., Middleton B., Skene DJ., Revell VL. “Bigger, Brighter, Bluer-Better? Current light-emitting devices – adverse sleep properties and preventative strategies.” *Frontiers in Public Health*. 2015. Vol. 3. article 233. <http://www.doi.org/10.3389/fpubh.2015.00233>
19. Scott Zimmerman, Russel J. Reiter. “Melatonin and the Optics of the Human Body.” *Melatonin Research*. 2019. Vol. 2 (1). P. 138-160. <http://www.doi.org/10.32794/mr11250016>
20. *Daylight in buildings*. BS EN 17037:2018, British Standards Institution (BSI), 2019.
21. Paule B., Boutillier J., Pantet S., Sutter Y. “A lighting simulation tool for the new European day lighting standard.” *International Building Simulation Association England: 4th Building Simulation and Optimization Conference, 11-12 September 2018, Cambridge (UK)*, 2018, pp. 032-037.
22. Darula S. “Obzor sovremennogo sostoyaniya i perspektiv standartizatsii v oblasti estestvennogo vnutrennego osvesheniya.” *Svetotekhnika*, 2019. no. 1. P. 6-20.
23. Research and practice evidence. *Chromaviso*. <https://chromaviso.com/en/circadian-lighting/research-in-circadian-lighting/>
24. Helping students stay focused. *Philips*. <http://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/education/wintelre>.
25. *Artificial Sky*, <http://www.artificialsky.com>
26. *CoeLux*. <https://www.coelux.com/en/home-page/index>
27. *Ewinlight*. <http://www.ewinlight.com/>
28. *Sky Factory*. <https://www.skyfactory.com/>
29. Sunlight LED Window. *Indiegogo*. <https://www.indiegogo.com/projects/sunlight-led-window-light/#/>
30. *Education Sky Factory*. <https://www.skyfactory.com/education/>
31. Erbach G. “Understanding energy efficiency.” *European Parliamentary Research Service (EPRS): PE 568.361. Briefing, October 2015*. <http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568361/>

[EPRS_BRI\(2015\)568361_EN.pdf](#)

32. "Lumileds Enables Next Step in Human Centric Lighting with Launch of Luxeon Fusion." *LED professional*, <https://www.led-professional.com/products/led-modules-led-light-engines/lumileds-enables-next-step-in-human-centric-lighting-with-launch-of-luxeon-fusion>. Posted by 15 May 2019.

33. Zastrow L. et al. "Free radical threshold value: A new universal body constant." *Skin Pharmacology and Physiology*. Vol. 28 (5), 2015. P. 264-268. <http://www.doi.org/10.1159/000435893>

34. Aleshin A. I., Bandurovskii K. V., Gubin V. D. i dr. *Istoriia mirovoi filosofii: ucheb. posobie*. Astrel: AST: HRANITELЬ, 2007.

35. *Antychna literatura: pidruch. dlia stud. pedahohichnykh instytutiv*. Vyshcha shkola, 1976.

36. Hlovatska K. I. *Mify Davnoi Hretsii*. Veselka, 1986.

37. Moshchnye svetodiody 0,7-1,74 mkm. *ООО «AIBI» (IBSG Co., Ltd.)*. <http://www.ibsg.ru/led/led.html>.

38. Haas Harald. "LiFi as a Paradigm-Shifting 5G Technology." *LED professional Review. Luger Research e.u. Institute for Innovation & Technology*. 2019. Iss. 73. P. 54-61.

39. Signify Launches Trulifi High-Speed Commercial LiFi System for Their Luminaires. *LED professional (The Global Information Hub for Lighting Technologies)*, https://www.led-professional.com/project_news/lamps-luminaires/signify-launches-trulifi-high-speed-commercial-lifi-system-for-their-luminaires.

40. Company pureLiFi. <https://purelifi.com/company/>

41. IEEE Task Force Works on Global LiFi Standard for Light: The new guidelines for LiFi are to enhance IEEE 802.11 Wi-Fi standard. PureLiFi. <https://purelifi.com/lifi-is-getting-a-global-standard/>

42. Yehorchenkov V., Koval L., Radomtsev D., Serheichuk O. "Analiz zakhodiv z pidvyshchennia enerhoefektyvnosti u novii redaktsii norm z pryrodnoho i shtuchoho osvittlenia." *Intehrovani enerhoefektyvni tekhnologii v arkhitekturi ta budivnytstvi: tezy dopovidei deviatoi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii «Enerhoitehrat-siia-2019», 24-26 april 2019 p., Kyiv, Ukraine*. 2019. P. 6-7.

УДК 745/749:628.9

Предпосылки и перспективы нормирования искусственного освещения, согласованного с биоритмами человека

Л. М. Коваль¹

¹канд. искусствоведения, доц., докторант. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

Аннотация. В статье анализируются такие предпосылки нормирования искусственного освещения, согласованного с биоритмами человека, как появление новых данных о влиянии на организм человека светового излучения биологически активного видимого диапазона и ближнего инфракрасного диапазона, а также широкое внедрение LED-технологий, которые потенциально являются наиболее перспективными относительно воспроизведения свойств природного освещения, синхронизации с ним и имитации вида из окна. На основе анализа соответствующих предпосылок предложен перечень актуальных направлений развития нормирования искусственного освещения: регулирование наличия в спектре осветительных систем излучения биологически активного видимого диапазона и ближнего инфракрасного диапазона, определение интенсивности и продолжительности действия этого излучения в зависимости от различных суточных периодов; разработка методики корреляции световых и визуальных характеристик установок искусственного освещения и действительного вида из окна; синхронизация осветительных норм с нормами по применению технологии Li-Fi. Вопрос энергоэффективности систем искусственного освещения, согласованного с биоритмами человека требует более детального рассмотрения в отдельной публикации.

Ключевые слова: нормирование искусственного освещения, биоритмы человека, циркадная система, LED, Li-Fi

UDC 745/749:628.9

Prerequisites and Prospects for Establishing Regulations on Artificial Lighting Consistent with Human Biorhythms

L. Koval¹

¹PhD, associate professor, doctoral student. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, likocolor@gmail.com, ORCID:0000-0002-7324-0377

Abstract. Today, the current DBN V.2.5-28: 2018, "Natural and artificial lighting" provides the use of LEDs as a source of light both for lighting the city spaces and for general lighting of premises. In general, the transition of society to digital light-emitting diode technology in lighting is a change in the paradigm that occurs at a rapid pace and relates not only to visual perception and energy efficiency, but also to the optimization of the biological and emotional impact of light. This trend highlights the need for more complete consideration of non-visual light effects in relevant regulations. Therefore, the next step in establishing these regulations should be a set of standards and guidelines for lighting design consistent with human biorhythms. In some countries such documents have already been adopted, which minimizes the risks to human health and safety caused by inappropriate use of new lighting technologies. The article analyzes the following prerequisites for the development of regulations on artificial lighting as the emergence of new data on the impact of light radiation of the biologically active visible range and the near-infrared range on a human body, as well as the widespread introduction of LED technologies that are potentially the most promising tools in reproducing the properties of natural light, synchronization with it and simulating the view from the window. Basing on the analysis of the relevant prerequisites, a list of the most important trends in the development of artificial lighting regulation is proposed: regulation of the presence of the biologically active visible range and the near-infrared range in the spectrum of light systems; determination of the intensity and duration of this radiation, depending on different diurnal periods; development of the technique of correlation of light and visual characteristics of artificial lighting installations and the actual view from the window; synchronization of illumination regulations with regulations concerning application of Li-Fi technology. The issue of energy efficiency of artificial lighting systems consistent with human biorhythms needs to be considered separately in the future publications.

Keywords: regulations on artificial lighting, human biorhythms, circadian system, LED, Li-Fi

Надійшла до редакції / Received 31.08.2019