

Вплив джерел синього світла в освітлювальних установках на циркадні ритми людини

Желязков Є. О., ORCID [0000-0002-3651-7840](https://orcid.org/0000-0002-3651-7840)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)
Київ, Україна

Анотація—Дана стаття описує вплив на здоров'я людини синього світла. Ефект останнього, яке випромінюють електронні пристрої, негативно впливає на людину, навіть якщо не потрапляє в очі. Робота містить порівняльний аналіз спектрів синього випромінювання та впливу на людський організм, за допомогою якого визначаються допустимі межі енергетичної залежності від випромінювання. Концепція біологічного впливу пов'язана з меланопсином, що містить рецептори на сітківці ока, сигнали від яких контролюють концентрацію гормону мелатоніну в крові. При проведенні розрахунків враховано фотохімічні та електричні процеси в сітківці ока, фізіологічні параметри людини, в тому числі коефіцієнт циркадної ефективності, коефіцієнт придушення мелатоніну та біологічний еквівалент. Робота є підґрунтям для побудови систем джерел живлення освітлювальних установок.

Ключові слова — синє світло; мелатонін; світлохімічне пошкодження сітківки; циркадні ритми; темновий струм; стабілізоване джерело живлення світильників.

I. ВСТУП

З плином часу та розвитком технологій вчені стали все частіше говорити про «цифрове старіння» та його вплив на шкіру людини. Це не дивно, адже перше, про що ми думаємо, розплющивши очі зранку — це можливість швидше перевірити робочі чати. Єдине, чого хочеться ввечері перед сном — погортати інформацію в соціальних мережах. Особливого значення набуває якість освітлювального обладнання, яке застосовується в медичних цілях, а також критерії випромінювання цього обладнання. До такого обладнання можна віднести стоматологічні фотополімеризаційні установки, що випромінюють сине та ультрафіолетове випромінювання [1].

Щохвилини свого дня ми проводимо під впливом світла, яке випромінюють телефони, ноутбуки, планшети та інші пристрої. Це світло має окрему назву — HEV (high-energy visible) випромінювання, а ще його називають «сине світло» [2, 3].

Людське око характеризується рядом захисних функцій від фотоушкоджень, які розглянемо надалі. Ці механізми захищають око від сонячного випромінювання, від якого освітлення на сітківці на порядок вище, ніж від штучних джерел світла (ДС). Тому оцінюючи небезпеку синього випромінювання штучних ДС, необхідно порівнювати отримані результати з небезпекою синього світла від випромінювання Сонця.

У зв'язку з вищесказаним постає питання: чи можна використовувати джерело «синього випро-

мінювання» в освітлювальних установках, наскільки таке випромінювання є безпечним та як впливає на працездатність.

Оскільки смартфони та планшети тісно поєднують наше дозвілля, роботу, виховання і навчання, не дивно, що найближчим часом світло та режим дня стануть проблемою №1 у світі [2].

Системи освітлення дозволяють здійснювати підлаштування під індивідуальні особливості та потреби людини. Зокрема, за допомогою регулювання параметрів освітлення з'являється можливість створювати позитивний вплив на циркадні ритми, порушення яких в умовах тривалої роботи комп'ютерів або ноутбуків є важливою проблемою.

Під циркадними ритмами розуміються зміни фізіологічних, біохімічних і поведінкових функцій організму. Ці ритми синхронізуються з природною світловою динамікою середовища навколишнього світу («день-ніч») за допомогою внутрішніх молекулярних «годин» [4].

Наслідками порушення циркадних ритмів є погіршення якості сну, сонливість, низька продуктивність роботи та поганий настрій.

Дія випромінювання на людський організм містить у собі зорове сприйняття, вплив на психофізіологічний та емоційний стан. В той же час існує ураження елементів ока та шкіри, а також ряд інших негативних факторів для фізичного здоров'я (фотобіологічна небезпека).



Найбільш суттєвим для людини є випромінювання з довжинами хвиль від 380 нм до 780 нм. Видиме світло забезпечує отримання до 90% інформації про довколишній світ, впливає на тонус основних ділянок нервової системи, на обмін речовин в організмі, його імунні та алергічні реакції, на працездатність та самопочуття людини [5].

Впродовж останніх десятиліть особливу увагу присвячено невізуальним процесам у зв'язку з виявленням невідомих раніше рецепторів ока. Вони виконують функцію синхронізації організму зі станом середовища світла.

Зміна циклів світла й темряви через очі впливає на функціонування супрахіазмального ядра та викликає циклічну секрецію мелатоніну («гормону втоми») шишкоподібної залози. Фактично всі організми мають високий рівень мелатоніну вночі та низький у денний час [6].

Максимум спектральної чутливості придушення формування мелатоніну у людей в діапазоні між 460 нм та 484 нм. У 2003 році професор Стівен Локлі (Lockley Steven) показав, що випромінювання з довжиною хвилі 450 нм пригнічує вироблення гормону мелатонін вдвічі більше, ніж випромінювання з довжиною хвилі 555 нм (максимум функції відносної спектральної світлової ефективності монохроматичного випромінювання).

Спектр випромінювання для придушення мелатоніну використовується у дослідженнях біологічної ефективності джерел світла, розробці методів зміщення циркадних ритмів, для підвищення зорової працездатності та зниження втоми людини. Максимум даного спектру припадає на довжину хвилі 450 нм.

Окрім позитивної дії діапазону випромінювання 400-480 нм, є також дані про небезпеку для людини синього випромінювання. Питання з'явилося в першій половині ХХ століття в результаті чисельних світлових опіків сітківки ока морських пілотів США. В середині 1970-х років група фізіологів з експериментами над мавпами показала, що різні пороги світлового пошкодження сітківки в блакитній області спектра (440-460 нм) в 50-100 разів нижче, ніж для світла основного зорового діапазону 500-700 нм. Дані не є остаточними, оскільки або умови дослідження не вказано, або початкова методологія не є коректною. Тим не менш існує стандарт, що регламентує небезпеку синього світла (BLH – blue light hazard) — можливість світлохімічного пошкодження сітківки від променистого опромінення довжиною хвилі від 400 до 500 нм [7].

Забезпечення високої ефективності у сучасних теплових технологічних процесів у різних галузях промисловості пов'язане з контролем, вимірюванням та регулюванням температури. Так цілодобовий моніторинг внутрішньої температури тіла та шкіри дозволяє відслідковувати циркадні ритми, які несуть інформацію про роботу центральної нервової та імунної систем. Даний процес прийому та обробки даних допомагає змінювати параметри ряду електричних

схем, зокрема стабілізоване джерело живлення світлодіодних світильників [8].

Ряд над'яскравих світлодіодів мають суттєві нелінійні вольт-амперні та люмен-амперні характеристики. Саме тому для забезпечення довготривалої роботи світильника необхідний стабілізатор, що здатний працювати на нелінійне навантаження та створювати мінімальний рівень радіоперешкод і високочастотних гармонік в мережі живлення [8].

Таким чином, метою даної роботи є дослідження впливу синього світла на циркадні ритми людини в конкретно визначеному спектральному діапазоні випромінювання, а також аналіз світлових характеристик синього світла, що здійснюють вплив на циркадні ритми людини.

II. СИНЄ ТА ВИДИМЕ СВІТЛО

Біле світло — це світло, яке утворюється при поєднанні всіх довжин хвиль видимого світла. Сонячне світло в ясний день без смогу — це природне біле світло з повним спектром.

Біле світло можна розділити на різні кольорові смуги залежно від довжини хвилі. Основними кольоровими смугами білого світла є: фіолетовий, синій, блакитний, зелений, жовтий, помаранчевий, червоний.

Окремі довжини хвиль білого світла утворюють неперервний спектр кольорів. Кожна з кольорових смуг, перерахованих вище, має свій діапазон довжин хвиль і відтінків цього кольору [9, 10, 11].

Довжина хвилі кожного світлового променя визначає як його колір, так і енергію. Світлові промені з короткою довжиною хвилі мають більше енергії, а ті, що мають більшу довжину хвилі, мають менше значення енергії [12].

У межах усього спектру видимого світла:

- синє світло має найкоротшу довжину хвилі та найбільшу енергію.
- червоне світло має найдовшу довжину хвилі та найменшу енергію.

Через свій високий рівень енергії фіолетові та синьо-фіолетові промені частіше завдають шкоди оку. З цієї причини ці промені (380-455 нм) також називають "шкідливим синім світлом".

Синьо-бірюзові світлові промені, навпаки, мають менше енергії і, здається, допомагають підтримувати здоровий цикл сну. З цієї причини ці промені (455-500 нм) іноді називають "корисним синім світлом".

Невидимі ультрафіолетові (УФ) промені лежать за межами найбільшого енергетичного (фіолетового) кінця спектра синього світла. УФ-промені мають меншу довжину хвилі і більше енергії, ніж високоенергетичне видиме синє світло. Доведено, що УФ-випромінювання завдає шкоди очам та шкірі [13, 14, 15].

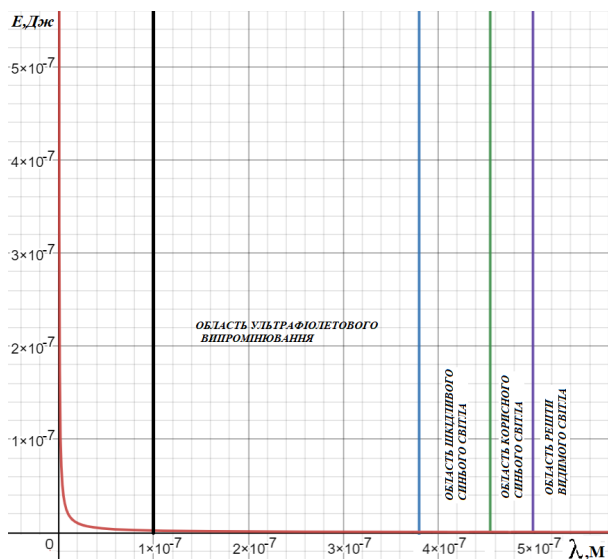


Рис. 1. Графік залежності енергії випромінювання від довжини хвилі

Порція світлового випромінювання, або квант світла, має корпускулярні властивості та може розглядатися як елементарна частинка — фотон. Він є носієм властивостей електромагнітного поля та описується трьома просторовими параметрами — складовими хвильового вектора, який визначає його довжину хвилі λ та напрямок поширення.

Представлення енергетичних меж виражено за допомогою відповідної формули залежності енергії від довжини хвилі випромінювання:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

де $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — стала Планка, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість світла, ν — частота світлової хвилі [Гц], λ — довжина світлової хвилі [нм].

На рис.1 представлено відповідну характеристику залежності енергії випромінювання з відповідним діапазоном світла.

Функція залежності $E(\lambda)$ є гіперболічною, наочно демонструє межі енергії випромінювання, а також порогові енергетичні значення впливу на людину.

Для випромінювання та енергетичного впливу на людину представлено дані [16,17] в таблиці 1.

На рис.2 представлені спектральна чутливість придушення мелатоніну $c(\lambda)$ та спектральна зважена функція небезпеки синього світла $B(\lambda)$, максимум якої припадає на спектральний діапазон випромінювання 435-440 нм [18]. Надалі необхідно співставити ці дві характеристики, які мають спільну точку перетину, утворюють з неї проекцію на вісь абсцис та заштриховану площу, яка відображає область безпечного впливу на здоров'я людини $S(\lambda)$.

ТАБЛИЦЯ 1. ДІАПАЗОН ВПЛИВУ СИНЬОГО СВІТЛА НА ЛЮДИНУ

| Спектр випромінювання | Діапазон довжини хвилі, нм | Енергія випромінювання, Дж | Енергетичний вплив на людину |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Видиме світло | 380-700 | $(5.234-2.84)10^{-27}$ | |
| Спектр синього світла | 380-500 | $(5.234-3.978)10^{-27}$ | |
| Синьо-фіолетові промені | 380-455 | $(5.234-4.371)10^{-27}$ | Шкідливе для людини |
| Синьо-бірюзові промені | 455-500 | $(4.371-3.978)10^{-27}$ | Корисне для людини |

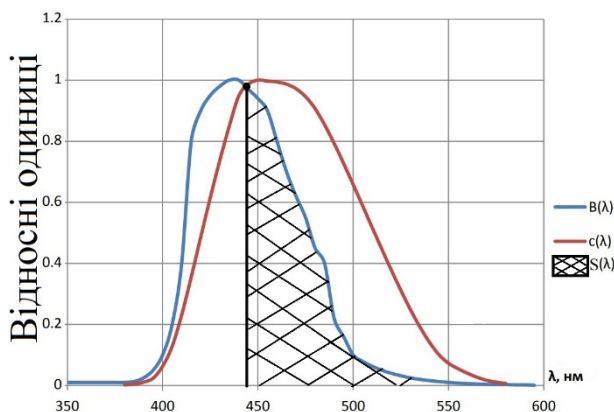


Рис. 2. Графік, що відображає область безпечного впливу на здоров'я людини $S(\lambda)$. $B(\lambda)$ – спектральна зважена функція небезпеки синього світла; $c(\lambda)$ – спектральна чутливість придушення мелатоніну,

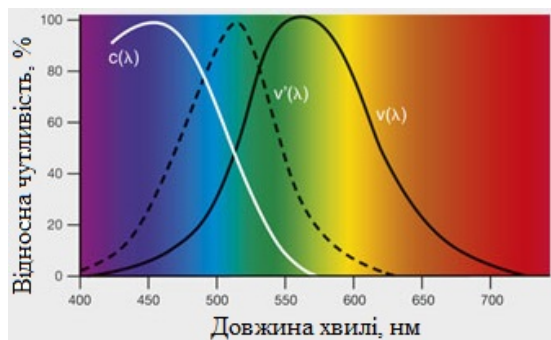


Рис. 3. Функція спектральної світлової ефективності для денного зору $V(\lambda)$; $V'(\lambda)$ – для нічного зору; $c(\lambda)$ – крива спектральної ефективності циркадної дії – процесу пригнічення мелатоніну.

Функції відносної спектральної чутливості ока називаються функціями відносної спектральної світлової ефективності випромінювання для денного і нічного зору. Усереднена крива спектральної чутливості ока тепер використовується при всіх розрахунках світлової дії випромінювання (рис. 3, крива $V(\lambda)$) [19].

Максимум цієї кривої, умовно прийнятий за одиницю, припадає на довжину хвилі 555 нм. Очевидно, що чутливість ока до випромінювання інших хвиль буде менше одиниці (за однакової потужності). Крива $V(\lambda)$ має місце для денного зору, тобто при високих значеннях освітленості. В умовах нічного зору

вступає в дію паличковий апарат органу зору, що реагує на незначні значення освітленості. У цьому випадку крива спектральної чутливості ока $V(\lambda)$ буде змінена у бік більш коротких довжин хвиль стосовно кривої денного зору. Максимум цієї кривої, також прийнятій за одиницю, відповідає довжині хвилі 507 нм.

Станом на сьогодні світлодіодні джерела (СД) світла розглядають в якості головних кандидатів на роль ДС майбутнього. Прогрес у галузі дослідження СД визначається як технологічними досягненнями, що дозволили за 10 років на порядок підвищити коефіцієнт корисної дії (ККД) та світлову віддачу (η_v), так і безпосередніми темпами збільшення обсягу виробництва. Особливу увагу з точки зору біологічної безпеки для людини необхідно присвятити білим СД [20].

III. НЕБЕЗПЕКА СИНЬОГО СВІТЛА

Небезпека синього світла (blue light hazard (BLH)) — можливість світлохімічного пошкодження сітківки від потрапляння на неї випромінювання довжиною хвиль від 400 нм до 500 нм. Цей механізм пошкодження домінує над тепловим механічним пошкодженням протягом більше 10 с.

Оптична система ока будує зображення об'єктів, що світяться, на сітківці. За високого рівня яскравості об'єкта та опромінення сітківки відбувається оборотне та необоротне фотопошкодження її тканин. У світлотехніці прийнято говорити про стадії осліплення очей. Якщо розглядати кольорові складові зображення, при помірних яскравостях фотопошкоджуючу дію на сітківку справляє лише короткохвильова складова. Тому світло з вираженою часткою короткохвильової складової значно більше впливає на око ніж світло, в спектрі якого короткохвильова складова не є вираженою. В цьому полягає так звана «небезпека синього світла».

В середині 1970-х років групою фізіологів в експериментах на мавпах було показано, що різні границі світлового пошкодження сітківки у блакитній області спектру (440-460 нм) в 50-100 разів нижче, ніж для світла основного зорового діапазону 500-700 нм [21].

В експериментах тривалість взаємодії «синього випромінювання» на очі не перевищувала 1000 с. В повсякденному житті людина рідко з'являється протягом такого часу на яскравому синьому світлі. Реальні дози пошкодження людської сітківки світлом синьо-блакитного діапазону можуть виявитися близькими до отриманих в ході експериментів на щурах-альбіносах. Для них 3-годинне освітлення за енергетичного освітлення $0,64 \text{ Вт/м}^2$ в спектральній смузі 400-480 нм наводить через 1-2 дні до масового, хоч і частково оберненого, руйнування фоторецепторних клітинок сітківки. Інакше кажучи, навіть слабке світло фіолетово-синьо-блакитного діапазону є потенційно небезпечним для людського зору.

Границя безпеки опромінення синім світлом. В нормативних документах [22] регламентується

границя безпеки опромінення сітківки синім світлом. Для захисту сітківки від фотохімічного пошкодження при опроміненні синім світлом енергетична яскравість синього світла не повинна перевищувати рівня, визначеного за формулою:

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 10^6 [\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}] (\text{для } t \leq 10^4 \text{ с}),$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 100 [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}] (\text{для } t > 10^4 \text{ с})$$

де $L_\lambda(\lambda, t)$ – спектральна густина енергетичної яскравості $[\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{нм}^{-1}]$, $B(\lambda)$ – зважена функція безпеки від синього світла, $\Delta \lambda$ – ширина смуги в нм, t – час опромінення в секундах.

Для зваженої енергетичної яскравості джерела L_B , що перевищує $100 [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}]$, максимально допустимий час опромінення t_{\max} має бути розраховано за формулою:

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B} [\text{с}] (\text{для } t \leq 10^4 \text{ с}).$$

Для джерел світла з кутом менше 0.011 радіан спектральне опромінення на сітківці E_λ , визначеної за функцією безпеки від синього світла $B(\lambda)$, не має перевищувати рівні, що визначені за формулою:

$$E_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t E_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \leq 100 [\text{Дж} \cdot \text{м}^{-2}] (\text{для } t \leq 100 \text{ с}),$$

$$E_B = \sum_{300}^{700} E_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta \lambda \leq 1 [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}] (\text{для } t > 100 \text{ с}).$$

Для джерела, у якого зважене опромінювання від синього світла E_B перевищує $0.01 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$, максимально допустима тривалість опромінення визначається за формулою

$$t_{\max} = \frac{10^6}{E_B} [\text{с}] (\text{для } t \leq 100 \text{ с}).$$

Згідно з даним діапазоном вкрай важко оцінити безпеку від реальних джерел світла, оскільки в каталогах ніколи не наводиться спектральна енергетична яскравість джерел, а потік представлено у світлотехнічних одиницях. Тому задля оцінки безпеки від синього випромінювання необхідно проводити додаткові дослідження.

IV. ВПЛИВ СВІТЛА НА ЦИРКАДНІ РИТМИ ЛЮДИНИ

Біологічний годинник, що регулює добові складні механізми, такі як нічний сон і денна активність — центральне поняття фотобіології. Цей цілодобовий годинник знаходиться в супрахіазматичному ядрі (SCN) головного мозку і мають періодичність не 24, а приблизно 24.5 год. За нормальних умов світло є головним стимулом задля регулювання «біологічного годинника».

Щоранку денне світло скидає цикл «сон-бадьорість», щоб привести його у відповідність з циклом «день-ніч». За повної темряви та для сліпих людей механізми «сна-бадьорості» з циклом «день-ніч»



будуть десинхронізовані. Сезонні зміни циклу «день-ніч», поїздки на інший кінець світу з перетином часових поясів та робота в нічну зміну впливають на біологічний годинник, оскільки світловий ритм стає розсинхронізованим з біологічним годинником.

Зорову інформацію отримуємо безпосередньо через рецептори — палички та колбочки, незорову — через рецептори «третього роду», або світлочутливі гангліозні клітини сітківки. Останні мають світлочутливий фермент меланопсин та через канал зв'язку між сітківкою та гіпоталамусом відправляють інформацію про світло до супрахізматичного ядра, що розташоване в гіпоталамусі.

Встановлено, що незорові рецептори максимально чутливі до відносно короткохвильових випромінювань видимого світла і розташовані в основному в нижніх зонах сітківки ока, що визначає найбільшу ефективність біологічного впливу світла, яке містить короткохвильові випромінювання і надходить в око зверху.

Пігментний шар є зовнішнім шаром сітківки (рис.4) [23]. Його назва пов'язана з тим, що він містить чорний пігмент меланін.

Процес, за якого світло перетворюється в електричний сигнал в клітинах — механізм фототрансдукції. За відсутності світлового стимулу збалансований постійний потік катіонів із внутрішнього сегмента фоторецептору до зовнішнього сегменту описує темновий струм. Величина для людини становить 34 пкА в паличках та 30 пкА у колбочках сітківки ока [24].

Внутрішні фоточутливі гангліозні клітини сітківки (ipRGC), що містять меланопсин — клас фоторецепторів сітківки ока, що збуджуються під впливом світла [23, 25]. Фотопігмент цих клітинок, меланопсин, реагує на випромінювання головним чином в синій частині видимого спектру. Процес, за якого світло перетворюється в електричний сигнал в даних клітинах — механізм фототрансдукції. Клітини ipRGC реагують на світло, деполаризуються та підвищують швидкість, з якою вони передають імпульси [26].

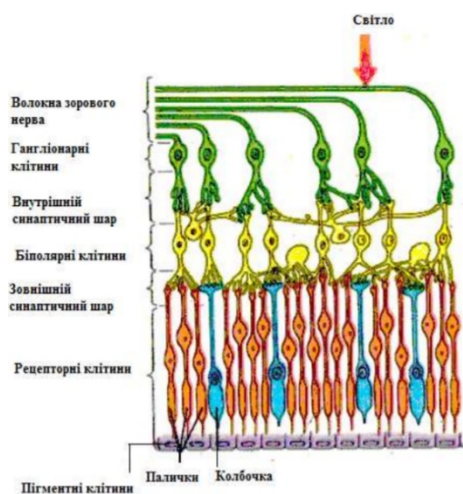


Рис. 4. Будова сітківки ока.

Таблиця 2. Аналітичні спектри дії, що показують максимальну чутливість до блакитного світла циркадних, нейроендокринних та нейроповедінкових реакцій

| λ_{\max} , нм | Об'єкти дослідження | Реакція |
|-----------------------|---------------------|----------------------------------|
| 464-459 | Людина | Придушення секреції мелатоніну |
| 479 | Миша моделі rd/rd | Рефлекси зиниці на світло |
| 480-481 | Миша моделі rd/rd | Циркадний фазовий зсув |
| 482 | Мавпа | Деполаризація гангліозних клітин |
| 483 | Щур | Деполаризація гангліозних клітин |

Спектр дії — один із головних інструментів ідентифікації фотопігменту, що ініціює реакцію на світло. Можна провести аналогію між спектральною чутливістю даного фотопігмента або його спектром поглинання та відбитками пальців — вони є унікальними для даної молекули. Спектр дії є відносною реакцією організму на різні довжини хвиль електромагнітного випромінювання видимого діапазону та наближеного до нього.

Одночасно з відкриттям меланопсину та ipRGC ряд нещодавно отриманих аналітичних спектрів дії продемонстрували спектральну чутливість деяких фізіологічних реакцій. Свідчення про дані спектри наведено в таблиці 2 [10].

Проводили дослідження ряду нейроповедінкових змін, пов'язаних зі змінною колірною температурою (T_c) ширококутового, поліхроматичного світла люмінісцентних ламп (ЛЛ). Загалом було виявлено, що ЛЛ з підвищеною T_c випромінюють більше в блакитній ділянці спектру, ніж лампи зі зниженою T_c , та сильніше подавляють секрецію мелатоніну у здорових людей. Крім того, було виявлено, що ЛЛ з підвищеною T_c сильніше впливають на температуру тіла, а також показано, що зі зростанням T_c ламп відбувається підвищення кров'яного тиску та частоти електроенцефалограми. Відповідно, лампи з більшою T_c викликають у здорових суб'єктів більш сильні нейроповедінкові реакції, ніж лампи з більшою низькою T_c .

Кожен зі спектрів дії базується на відповідній реакції на флюенс фотонів на 6-10 довжинах хвиль. Параметр λ_{\max} — величина, що характеризує максимум довжин хвиль даних спектрів.

Табличні дані для кожного спектру дії мають відносно високий коефіцієнт кореляції на уніфіковані номограми опсину. Таким чином, дане дослідження підтверджує, що монохроматичне короткохвильове світло за однакової рівної густини фотонів ефективніше викликає фазовий зсув циркадної системи, подавлення секреції мелатоніну, підвищення частоти серцевих скорочень, температури тіла, ніж світло з більшою довжиною хвилі. Знаючи табличні дані в подальшому можна розраховувати такі параметри як циркадні освітленість, сила світла та яскравість. Це дає можливість для розробки засобів вимірювання

циркадних характеристик джерел випромінювання та регулювальні установки на основі вимірювальних частин.

V. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ КОЛІРНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Задля оцінки небезпеки синього випромінювання та впливу джерел світла на придушення мелатоніну проведено відповідні розрахунки. Власне у 2002 році професор D.Gall (Технічний університет Льменау, Німеччина) запропонував формулу визначення нового критерію оцінки ефективності штучних джерел світла [10].

Коефіцієнт циркадної ефективності [27] — це коефіцієнт біологічної дії випромінювання лампи:

$$a_{cv} = \frac{[\int \Phi_{e,\lambda} \cdot c(\lambda) d\lambda]}{[\int \Phi_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) d\lambda]},$$

де $\Phi_{e,\lambda}$ — спектральна інтенсивність світлового потоку, $c(\lambda)$ — спектральна циркадна ефективність дії випромінювання, $V(\lambda)$ — відносна спектральна частина чутливості для денного зору. Величина a_{cv} характеризує співвідношення частинок випромінювання, що забезпечують візуальні (зорові) функції та сприяють біологічній взаємодії.

Знаючи величину a_{cv} , є можливість цілеспрямовано співставити різні джерела світла і керувати освітлювальною установкою. Таким чином, у приміщенні створюється біологічно можлива концепція освітлення, яка була б орієнтована на динаміку природнього (денного) світла. Люмінесцентні лампи з колірною температурою $T_{\text{ц}} = 8000$ К мають в своєму спектрі високу частку блакитного випромінювання та за біологічною дією є близькими до денного світла ($a_{cv} \approx 1$). Лампи на стелях можуть бути скомбіновані з лампами тепло-білого світла ($T_{\text{ц}}=3000$ К, $a_{cv} \approx 0.3$) та з лампами холодного білого світла ($T_{\text{ц}} = 6500$ К, $a_{cv} \approx 0.9$).

За відповідної системи керування освітленням з'являється можливість варіювати кольоровий відтінок світла — $T_{\text{ц}}$ в широких межах: від тепло-білого до денного та забезпечити біологічну взаємодію.

Люмінесцентні лампи холодного денного світла так само енергоефективні, як і звичайні лампи нейтрально-білого світла, але їх біологічна активність щонайменше в 2 рази більше. Такі лампи зі збільшеним блакитним компонентом підвищують концентрацію уваги, активно діють на організм та можуть стабілізувати його «внутрішній годинник».

У вечірній час, навпроти, теплі відтінки освітлення, які сприяють розслабленню та відпочинку. Дане тепле («домашнє») світло «готує» організм до ночі, викид мелатоніну не подавляється, полегшується процес засинання.

Таблиця 3. Величини коефіцієнтів циркадної ефективності a_{cv} та колірної температури для природніх та штучних джерел світла

| Тип лампи | Коефіцієнт циркадної ефективності a_{cv} | Значення колірної температури $T_{\text{ц}}$ |
|-------------------------------|--|--|
| Пряме сонячне світло | 0.83 | 5081 К |
| Пряме світло луни | 0.62 | - |
| Полум'я свічки | 0.2 | 1900 К |
| Лампа накаливання | 0.35-0.38 | 2700 К |
| Натрієва лампа високого тиску | 0.21 | 2100 К |
| Небосхил | | |
| Блакитний | 1.73 | 5900 К |
| Відкритий блакитний | 1.02 | 19960 К |
| Світлодіод | | |
| Білий | 1.5-2.0 | 4700 К |
| Блакитний | ≥ 6.9 (при $\lambda = 468 \text{ нм}$) | |
| Люмінесцентна лампа | | |
| Тепло-біле світло | 0.36 | 2820 К |
| Нейтрально-біле світло | 0.6 | 3680 К |
| Холодне денне світло | 1.18 | 7000 К |
| «Biolux» | 1.5 | 6120 К |
| «BioLicht» | 0.98 | 5800 К |
| «TrueLight» | 0.95 | 5800 К |

Широкого інтересу набувають величини a_{cv} — коефіцієнт циркадної ефективності — біологічної дії випромінювання лампи, розраховані для природніх та штучних джерел світла. Відповідні дані представлено у таблиці 3 [9,24,25].

Функція небезпеки синього випромінювання описує ймовірність захворюти фоторетинітом при опроміненні людини випромінюванням з даного спектрального діапазону (400-500 нм) [26].

Використовуються два способи оцінки.

Перший спосіб. Спочатку спектральні розподіли досліджуваних джерел світла нормуються, $\Phi_e(\lambda)_{i,norm}$ за умови однакового світлового потоку, що визначаються інтегралом.

Знаючи радіометричну потужність випромінювання, можна знайти величину світлового потоку

$$\Phi_{v,i} = 683 \int_{380}^{770} \Phi_e(\lambda)_{i,norm} V(\lambda) d\lambda = const$$

де 683 лм/Вт — відповідний коефіцієнт нормування.

Розглянемо відповідний біологічний еквівалент $BioEq_i$, який дорівнює інтегралу перекриття



нормованого спектрального розподілу $\Phi_e(\lambda)_{i, norm}$ з кривою $B(\lambda)$:

$$BioEq_i = \int_{380}^{770} \Phi_e(\lambda)_{i, norm} B(\lambda) d\lambda,$$

де $B(\lambda)$ – зважена функція небезпеки синього світла.

Другий спосіб. Розраховуються коефіцієнти a_{cv} та a_{BV} [27,28], що оцінюють енергетичну частку короткохвильової складової в одному люмені світла даного спектру:

- коефіцієнт a_{cv} допомагає порівняти за різних рівних умов вплив світла різних спектрів на циркадний ритм людини

$$a_{cv} = \frac{\int X(\lambda)c(\lambda)d\lambda}{\int X(\lambda)V(\lambda)d\lambda}$$

- коефіцієнт a_{BV} допомагає порівняти ступінь небезпеки фотопошкодження сітківки сітлом яскравих джерел з різним спектром, але за різних рівних умов. Для заздалегідь безпечних величин яскравості даний коефіцієнт є незначним

$$a_{BV} = \frac{\int X(\lambda)B(\lambda)d\lambda}{\int X(\lambda)V(\lambda)d\lambda}.$$

Недоліком обох методів є використання $V(\lambda)$ відносної спектральної світлової ефективності ока. Вона описує зорові процеси, а процес придушення мелатоніну під взаємодією освітлення та фоторетиніту відносяться до незорових процесів. Як видно з рис.5, $V(\lambda)$ обрізає значну частину синього випромінювання [10]. А коефіцієнти a_{cv} та a_{BV} є активнічністю та характеризують приймачі.

Спочатку необхідно оцінити частку синього світла в спектрі джерел — ККД синього випромінювання. Розглядаючи відносно небезпеки синього світла, візьмемо діапазон 400-500 нм, відносно подавлення мелатоніну 400-550 нм та зі спаду кривих до 90% [29].

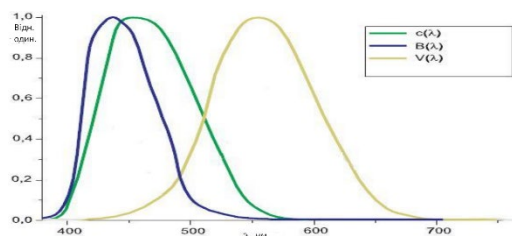


Рис. 5. Криві спектру подавлення мелатоніну $c(\lambda)$, функції небезпеки синього світла $B(\lambda)$, функції спектральної світлової ефективності $V(\lambda)$.

$$\eta_1 = \frac{\int_{400}^{500} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}, \quad \eta_2 = \frac{\int_{400}^{550} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}.$$

Надалі розрахуємо ефективність випромінювання [30,31], що викликає фоторетиніт (P_1) та ефективність випромінювання задля подавлення мелатоніну (P_2):

$$P_1 = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} B(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}, \quad P_2 = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} c(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} d\lambda}.$$

та подавлення мелатоніну (Φ_{e32}). Надалі розрахуємо за формулами зважені енергетичні потоки небезпеки синього випромінювання (Φ_{e31}) та подавлення мелатоніну (Φ_{e32}) [32,33].

$$\Phi_{e31} = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda, norm} B(\lambda) d\lambda \quad \Phi_{e32} = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda, norm} c(\lambda) d\lambda.$$

В ході досліджень джерел світла різних типів встановлено пряму пропорційну залежність показників циркадної ефективності та небезпеки блакитного випромінювання від колірної температури. Тобто з підвищенням колірної температури збільшується кількість фотонів активного та корисного циркадного випромінювання. Використання цього методу дає можливість створити оптимальну освітлювальну установку без урахування впливу середовища, де розповсюджується світло, що змінюється від установки до установки. Крім того, результат розрахунку за цим методом стає вихідним параметром для визначення біологічної дози випромінювання.

VI. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

При проектуванні електричного освітлення з використанням сучасних електричних джерел випромінювання без уявлень про колір випромінювань і без кольорових розрахунків неможливо обійтися.

Для визначення координат кольору були розроблені математичні моделі розрахунку кольору, що представляють собою колориметричні системи, за допомогою яких виявляються можливими розрахунки і вимірювання кольору, а також його відтворення.

Таким чином, за допомогою RGB-діаграми [34] було розраховано параметри кольору та кольоровості, зокрема значення кольорової температури. Знаючи ці дані, побудовано графіки для η_1 та η_2 , а також лінійна залежність ККД від P_1 . Відповідні характеристики світлодіодів взято з [9], оскільки представлено ряд світлодіодів, які працюють за колірної температури в діапазоні 2000-12000 К. Надалі побудовано лінійні апроксимації кожного з джерел світла.

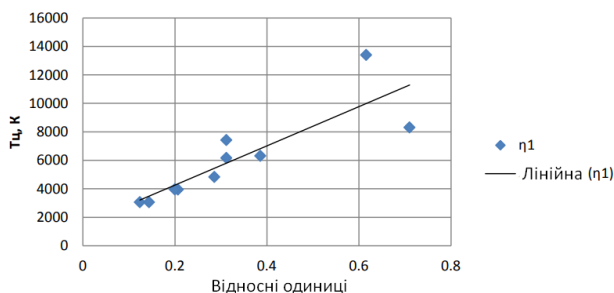


Рис. 6. Залежність колірної температури джерела від частки синього випромінювання в діапазоні 400-500 нм (η_1)

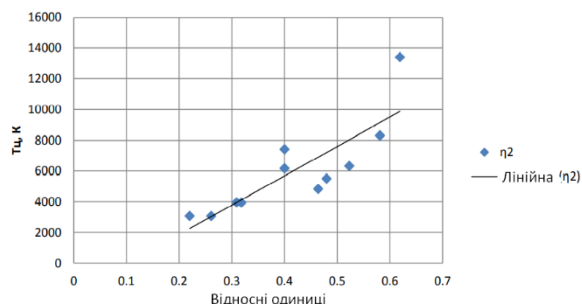


Рис. 7. Залежність колірної температури джерела від частки синього випромінювання в діапазоні 400-550 нм (η_2)

Частка синього світла в спектрі напряму пов'язана з колірною температурою. Побудуємо графік цієї залежності відповідно до результатів (рис. 6).

Порівняємо з тим, як частка синього випромінювання в спектрі джерела, що впливає на придушення мелатоніну, пов'язана з кольоровою температурою (рис. 7).

На рис. 8 наведено суміщені графіки залежності кольорової температури. Як видно, збільшення кольорової температури джерела зміщує його спектр в область довжин хвиль 400-500 нм (область небезпечного синього світла).

Побудуємо графік залежності ефективності випромінювання від частки синього світла в спектрі випромінювання на рис. 9.

Величини $\Phi_{\text{в}}$ та P лінійно залежать від частки синього спектру, а також від колірної температури. Наше око є придатним до сонячного випромінювання, відповідно також від великої яскравості джерел з колірною температурою більше, ніж сонячна, можуть сприяти фоторетиніту.

Всі графіки є лінійними, оскільки наочно демонструють залежність зміни колірної температури від параметрів ККД синього випромінювання. Останні також впливають на ефективність випромінювання за лінійним рівнянням.

ВИСНОВОК

Дана тематика присвячена розробці систем «розумного освітлення», що створюють позитивний вплив на фізіологічні властивості людини.

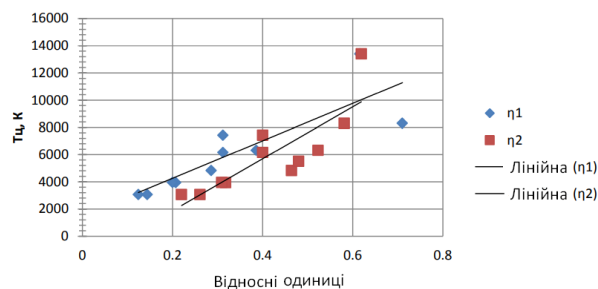


Рис. 8. Залежність колірної температури джерела світла від частки синього випромінювання в його спектрі (η_1) та (η_2)

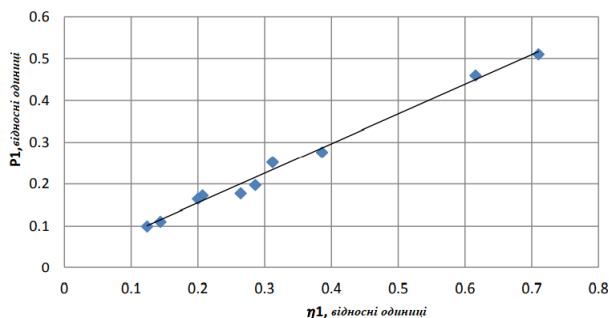


Рис. 9. Залежність ефективності випромінювання від частки синього світла в спектрі випромінювання

Експериментально доведено, що синє світло може позитивно впливати на працездатність людини за діапазону довжин хвиль 455-500 нм. В той же час опромінення синім світлом може призвести до порушення біологічних ритмів, що вкрай негативно відображається на здоров'я людини 380-455 нм. До того ж при великих яскравостях джерел і значній частки синього світла в спектрі 400-500 нм може виникнути загроза пошкодження сітківки — фоторетиніт.

При проектуванні освітлювальних установок варто ретельно ставитися до вибору колірної температури та спектрального складу джерел, щоб уникнути порушення природних циркадних ритмів або, за необхідності, збільшити працездатність людей (наприклад, нічні зміни). Зокрема зачення T_c знаходиться в числовому діапазоні 4000-5500 К.

Так само потрібно враховувати яскравість джерел, в СД габаритна яскравість дуже велика і, якщо не передбачити захисту від прямого потрапляння світла від джерела в очі, це може завдати шкоди сітківці, яка буде проявлятися з роками.

Надалі передбачено розробити концепцію освітлювальної установки з динамічним освітленням, що є безпечним для здоров'я людини. Зокрема взаємозв'язок між фізіологічними параметрами людини та електричними, що регулюють роботу джерел живлення для освітлювальних установок.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Pityakov Alexander, Neezhmakov Paul, «Fotobiologichna bezpeka osvitlyval'nykh prykladiv medychnoho pryznachennya [Photobiological safety of medical lighting fixtures]», Multidisziplinäre Forschung: Perspektiven, Probleme und Muster,



- Wien, pp.126-127, April 2021. DOI: [10.36074/logos-09.04.2021.v1.42](https://doi.org/10.36074/logos-09.04.2021.v1.42)
- [2] Zhi-Chun Zhao, Ying Zhou, Gang Tan, Juan Li, "Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes", *Int J Ophthalmol*, First Affiliated Hospital of University of South China, Department of Ophthalmology, Vol. 11, No. 12, pp.1999-2003, December 2018. DOI: [10.18240/ijo.2018.12.20](https://doi.org/10.18240/ijo.2018.12.20)
- [3] Davide Piccinotti, «Chalcogenide Platforms for Photonic Metamaterials». *University of Southampton Research Repository*, Southampton, p.171, November 2018.
- [4] «Kakiye lampy obladayut naibolshim biologicheskim vliyaniem na cheloveka? Sravneniye spektrov izlucheniya razlichnykh istochnikov sveta [Which lamps have the biggest impact on the person? Comparison of different radiation spectrums from the different light sources]», *Tochka opory*, URL: <https://www.kto.ru/ru/interesting/svet/detail.php?ID=608>
- [5] Eisenberg Yu.B., «Spravochnaya kniga po svetotekhnike: tret'ye izdanie [Formulary about lighting technology: third edition]», Moscow, p. 927, 2006.
- [6] Leena Tähkämä, Timo Partonen & Anu-Katriina Pesonen, «Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm», *Chronobiology International*, vol. 36, pp. 151-170, 2019. DOI: [10.1080/07420528.2018.1527773](https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1527773)
- [7] Te Taiao, «Blue light and the environment». *Blue light Aoteroa, Royal Society Te Apārangi*, pp. 15-17, 2018, URL: <https://www.royalsociety.org.nz/what-we-do/our-expert-advice/all-expert-advice-papers/impacts-of-artificial-blue-light-on-health-and-the-environment/>
- [8] Oxana Bojko, Olesya Chaban, Tetiana Kolach, «Peretvoruvachi temperatury na osnovi tranzystornykh struktur [Temperature converters based on transistor structures]», *Quality management in education and industry: experience, problems and perspectives*, Danylo Halytskyi Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine, pp. 78-79, 2021.
- [9] Puhova E., «Issledovaniye vozmozhnosti primeneniya istochnikov «siniego izlucheniya» v osvetitelnykh ustanovkakh [Researching possibility of «blue lighting» by light sources using lighting installation]», *Institute of radiotechnics and electronics*, Moscow, p. 60, 2013.
- [10] Galuk I., Borysov O., «Mikroelektronni pryimachi elektromagnitnoho vyromyuvannya v fitoaktyvnomu spektralnomu diapazoni [Microelectronic receivers of electromagnetic radiation in the phytoactive spectral range]», Igor Sikorsky KPI, Faculty of electronic, Kyiv, p. 48, 2021.
- [11] Helen R. Wright, Leon C. Lack, Kelly J. Partridge, «Light emitting diodes can be used to phase delay the melatonin rhythm», *Journal of Pineal Research*, School of Psychology, Flinders University, Adelaide, Australia, pp. 350-355, 2011. ISSN 0742-3098.
- [12] Markus Isser, Hannah Kranebitter, Erich Kühn, Wolfgang Lederer, «High-energy visible light transparency and ultraviolet ray transmission of metallized rescue sheets», *Scientific Reports*, pp. 1-6, August 2019. DOI: [10.1038/s41598-019-47418-8](https://doi.org/10.1038/s41598-019-47418-8)
- [13] Gary Heiting, «Blue light facts: Is blue light bad for your eyes?», *All About Vision*, URL: <https://www.allaboutvision.com/cvs/blue-light.htm>
- [14] «Lektsiya №26. Funktsiyi zorovoyi sensoryi systemy [Functions of visual sensory system] », URL: http://vnz-mpu.com.ua/images/pdf/lektsii/fizionoriya/lektsii_26_27.pdf
- [15] Yuya Nakashima, Shigeo Ohta, Alexander M. Wolf, «Blue light-induced oxidative stress in live skin», Elsevier, *Free Radical Biology and Medicine*, Department of Biochemistry and Cell Biology, Institute of Development and Aging Sciences, Graduate School of Medicine, Volume 108, pp. 300-310, July 2017. DOI: [10.1016/j.freeradbiomed.2017.03.010](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.03.010)
- [16] Jean Krutmann, Anne Bouloc, Gabrielle Sore, Bruno A. Bernard, Thierry Passeron, «The skin aging exposome», *Journal of Dermatological Science*, Volume 85, Issue 3, pp. 152-161, September 2016. DOI: [10.1016/j.jdermsci.2016.09.015](https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2016.09.015)
- [17] Yang Chaopu, Fang Wenqing, Tang Jiancheng, Yang Fan, Liu Yanfeng, Li Chun, «Change of blue light hazard and circadian effect of LED backlight displayer with color temperature and age», *Optics Express*, vol. 26, Issue 21, pp. 27021-27032, 2018. DOI: [10.1364/OE.26.027021](https://doi.org/10.1364/OE.26.027021)
- [18] Steven A. Giannos, Edward R. Kraft, Lance J. Lyons, Praveena K. Gupta, «Spectral Evaluation of Eyeglass Blocking Efficiency of Ultraviolet/High-energy Visible Blue Light for Ocular Protection», *Optometry and Vision Science*, Vol. 96, pp. 513-523, July 2019. DOI: [10.0.4.73/OPX.0000000000001393](https://doi.org/10.0.4.73/OPX.0000000000001393)
- [19] Litvinenko A., Petchenko G., «Metodychni vkazivky do vykonannya laboratornykh robot z kursu «Svitlovi prylady» [Methodical instructions for laboratory work on the course "Lighting devices"]», O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, p.58, 2009.
- [20] Mariana G. Figueiro, «An Overview of the Effects of Light on Human Circadian Rhythms: Implications for New Light Sources and Lighting Systems Design», *Journal of Light & Visual Environment*, Vol.37, No.2, pp. 51-61, 2013. DOI: [10.2150/jlve.IEIJ130000503](https://doi.org/10.2150/jlve.IEIJ130000503)
- [21] Moroz V., Yoltukhivsky M., «Fiziolojiya. Korotkyy kurs. Druhe vydannya [Physiology. Short course. Second edition] », *Nova knyha, National Pirogov Memorial Medical University*, Vinnytsya, p.392, 2019. ISBN 978-966-382-785-8
- [22] Nicola Busatto, Tiziano Dalla Mora, Fabio Peron, Piercarlo Romagnoni, «Application of Different Circadian Lighting Metrics in a Health Residence», *Journal of Daylighting*, vol. 7, pp. 13-24, 2020. DOI: [10.15627/jd.2020.2](https://doi.org/10.15627/jd.2020.2)
- [23] Michelle Gutknecht, «The effect of lighting on the circadian rhythm and its applications in a healthcare environment», *Department of Architectural Engineering College of Engineering*, Manhattan, Kansas, p.55, 2014.
- [24] Vladimir J. Kefalov, Rosalie K. Crouch, M. Carter Cornwall, «Role of Noncovalent Binding of 11-cis-Retinal to Opsin in Dark Adaptation of Rod and Cone Photoreceptors», *Neuron*, Boston University School of Medicine, Department of Physiology, Boston, vol. 29, pp. 749-755, march 2001. DOI: [10.1016/s0896-6273\(01\)00249-5](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00249-5)
- [25] Andrew Zinchenko, «Dyplomnyy projekt. Kontroler osvitlennya ta mikroklimatu [Diploma project. Lighting and microclimate controller]», Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Faculty of electronic, Kyiv, p. 100, 2021.
- [26] Andrew V. Aladov, Alexander L. Zakgeim, Mikhail N. Mizerov, Anton E. Chernyakov, «Concerning biological equivalent of radiation of light-emitting diode and lamp light sources with correlated colour temperature from 1800 k up to 10000 k», *Light & Engineering*, vol. 20, pp. 9-14, 2012.
- [27] Li-Li Zheng, Ting-Zhu Wu, Yi-Jun Lu, Ya-Jun Wang, Li-Hong Zhu, Zi-Quan Guo, Zhong Chen, «Spectral Optimization of Three-Primary LEDs by Considering the Circadian Action Factor», *IEEE Photonics Journal*, vol. 8, p. 11, December 2016. DOI: [10.1109/JPHOT.2016.2623667](https://doi.org/10.1109/JPHOT.2016.2623667)
- [28] Ioffe K. I. «Tsyrykadne osvitlennya: vyznachennya, vymiryuvannya, normuvannya [Circadian lighting: determination, measurement, normalization]», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6/8 (60), pp. 59-62, 2012. DOI: [10.15587/1729-4061.2012.5795](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2012.5795)
- [29] Usichenko D., «Fotometrychni vymiryuvannya svitlododnykh svitylynykiv i udoskonalennya osvitlennya [Photometric measurements of LED lamps and improvement of lighting]», O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, p.160, 2021.
- [30] Nazarenko L., Sorokin V. «Osnovy radiometriyi ta fotometriyi: monohrafiya [Fundamentals of radiometry and photometry: a monograph]». O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, p.352, 2014. ISBN 978-966-695-313-4
- [31] Thomas Bollinger, Ueli Schibler, «Circadian rhythms — from genes to physiology and disease», *The European Journal of Medical Sciences*, Department of Molecular Biology, University of Geneva, Switzerland, vol. 24, pp. 1-11, 24 July 2014. DOI: [10.4414/smw.2014.13984](https://doi.org/10.4414/smw.2014.13984)
- [32] Sebastian Knoche, «Optimized emission spectra for human centric lighting — Theoretical constraints», *Licht*, KIT Scientific Publishing, pp. 155-162, September 2016. ISBN 9783731505648.



[33] F Behar-Cohen, C Martinsons, F Vienot, G Zisis, A Barlier-Salsi, J P Cesarini, O Enouf, M Garcia, S Picaud, D Attia, «Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye?», *Progress in Retinal and Eye Research*, Elsevier, vol. 30, pp. 239-257, May 2011. PMID: 21600300 DOI: [10.1016/j.preteyeres.2011.04.002](https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002)

rytm lyudyny. [Diploma project. Learning of the different spectral lighting impact on a human circadian rhythm]», Igor Sikorsky KPI, Faculty of biomedical engineering, Department of biomedical Cybernetics, Kyiv, p. 112, 2021.

[34] Bazanov Oleksiy, Kyslyak Sergiy, «Dyplomnyy projekt. Vyvchennya vplyvu svitla riznomanitnykh spektriv na tsyrkadnyy Nadійшла до редакції 19 липня 2021 р. Прийнята до друку 23 серпня 2021 р.

UDC 621.321

The Effect of Blue Light Source in a Lighting Installations on Human Circadian Rhythms

Ie. O. Zheliazkov, ORCID [0000-0002-3651-7840](https://orcid.org/0000-0002-3651-7840)

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)
Kyiv, Ukraine

Abstract—This article describes effect of the blue light on a human health. This effect is emitting by electrical devices and has a negative impact on person, even if it does not fall into your eyes. This work consists on comparison study of blue radiation spectrum and impact on human organism. It helps to define permissible level of energy dependence on light radiation. The conception of biological impact connected with melanopsin, which one has rods and cones.

For humans, nonvisual biological effects, which can be parameterized by the circadian action factor (CAF), are important for their health and work performance. When we spend a lot of time in front of screens of devices, we are receiving radiation of blue light.

The article analyses questions associated with biological exposure to radiation from some light emitting diode and lamp light sources with various radiation spectrum (correlated colour temperature T_{cc}). The biological exposure concept is connected with melanopsin containing receptors on the eye retina, signals from which arrive to epiphysis and control concentration of the hormone melatonin in the blood.

Circadian rhythms are seen at every level of biology, from single cells to complex behaviors. The timing of every biological function in mammals is governed by the master clock in the suprachiasmatic nuclei (SCN), which has an intrinsic period of slightly longer than 24 hours. The light/dark pattern incident on the retina synchronizes the SCN to the 24-hour local time, coordinating and enabling diverse biological functions to occur at the correct time of day and night for optimum species survival. A wide range of modern maladies, from sleep disorders to cancer, has been linked to light-induced circadian disruption. Light has, however, been defined only in terms of the human visual system, not the circadian system. Light source and systems development should consider the needs of both the visual and non-visual systems.

Certain signals are fulfil function of controlling the concentration [chromatophorotropic hormone](#) within blood. As a basis for calculation were included photochemical and electrical processes in amphiblestodes, physiological human parameters, as well as coefficient of circadian efficiency, coefficient of growth-inhibitory activity of melatonin and biological equivalent.

The optical information is essential for physiological systems of humans, because it not only provides the visual information but also affects their physical, physiological, and psychological behaviors, in which researchers call the latter “non-visual biological effects of light”.

In the evolution of lives on earth, the sun and its spectrum, and the alternation of day and night play an important role in the adaptation of human to the natural environment. As receptors of light, human eyes are deeply influenced by standard light, to which the structure and function of human eyes are developed more accustomed during the long-term daily work.

Keywords — blue light; melatonin; lighting chemical injury [amphiblestodes](#); circadian rhythm; dark current; stabilized power supply of lamps.

