

## Література

1. Глушков, В. М. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий [Текст] / В. М. Глушков, В.П. Грибин.- М.: Энергия, 1975. – 104 с.
2. Железко, Ю. С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
3. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности. Под ред. Р. М. Матура: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 160 с.
4. Минин, Г. П. Реактивная мощность. – М.: Энергия, 1978. – 88 с.
5. Расчет режима компенсации реактивной мощности в несимметричной системе электроснабжения методом поисковой оптимизации. – Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика», вип. 11(186). – Донецьк, 2011. – с. 449-454. Ягуп В. Г. Ягуп Е. В.
6. Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н. – Matlab 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

**Abstract**

*In an application package MATLAB was made visual model of the system of power supply of electric train with the uneven active-inductive loading in each of three phases. For currents symmetrization and reactive-power compensation balanced interphase condensers were included in the system of power supply. For determination of optimum values of condensers capacities at which spherical metric, namely, square root from the sum of squares of reactive-powers, arrived at the minimum value, response surfaces were built. Thus taking into account that circumstance, that in MATLAB application is possible to build line of equal levels just for function of two variables, three diagrams were built. In each of diagrams one of three values of condensers was fixed, and was equal before found optimum value. As a result of construction of lines of equal level without implementation of optimization the geometrical place of values of balanced condensers at which reactive-power in the system of power supply reached minimum value*

**Keywords:** response surfaces, lines of equal level, optimization, balanced condensers, reactive power

**Обґрунтовано необхідність комплексного підходу до розв'язання проблеми урахування біологічної дії видимого світла. Наведено результати розробки методів оцінки та засобів вимірювання незорового впливу видимого світла**

**Ключові слова:** біологічний годинник, циркадне освітлення, незоровий вплив, якість, синхронізація, вимірювання, стандарт

**Обоснована необходимость комплексного подхода к решению проблемы учета биологического воздействия видимого света. Изложены результаты разработки методов оценки и средств измерения незрительного воздействия видимого света**

**Ключевые слова:** биологические часы, циркадное освещение, незрительное воздействие, качество, синхронизация, измерение, стандарт

УДК 628.98

## ЦИРКАДНЕ ОСВІТЛЕННЯ: ВИЗНАЧЕННЯ, ВИМІРЮВАННЯ, НОРМУВАННЯ

К. І. Гоффе

Начальник відділу світлотехнічних установок та кошторисів

ПАТ "Важпромелектропроект"

пр. Леніна, 56, м. Харків, Україна, 61072

Контактний тел.: (057) 340-35-60

E-mail: kioffe@inbox.ru

### 1. Вступ, обґрунтування актуальності проблеми

Піддержання рівноваги між якістю та енергоефективністю освітлення є основним питанням, що стоїть перед ведучими світлотехніками. В той час, коли спостерігається безперервно зростаюча потреба в зменшенні енергоспоживання, основна задача

освітлення в забезпеченні людей високоякісними умовами для виконання зорових задач.

Відомо, що всі види на землі регулюються біологічними годинниками, цикл яких близько 24 годин [1, 2]. Також біологічний годинник людини синхронізується з місцевого часу на землі кожен день, коли людина відкриває очі вранці. Зокрема, світло, що падає на сітківку, забезпечує синхронізацію сиг-

налу в ядрі супрахіазматичних клітин (SCN), який потім запускається на 24-годинний сонячний цикл, а не його запрограмований 24,2-годинний цикл. Таким чином, порушується гармонія між генетично запрограмованими годинами і місцевим циклом сонячного світла та темряви незалежно від місцезнаходження на планеті. При цьому в ряді функцій організму починають з'являтися симптоми відставання, такі як поганий сон, втома, погане травлення і загальне нездужання. Постало питання щодо поширення аперіодичності циклу, та, як наслідок, виникнення тяжких захворювань.

Таке становище примусило науковий світ звернути увагу на незоровий вплив видимого світла та основні реакції циркадної системи людини, зрозуміти необхідність вдосконалення норм із урахуванням нових відкриттів та приступити до розробки рекомендацій щодо освітлення з розширенням набору критеріїв ефективності.

## 2. Постановка проблеми у загальному вигляді

Виявлення в 2002р. у сітківці ссавців нового третього типу «циркадних» фоторецепторів, мале велике значення в розумінні незорового впливу видимого світла на організм людини та якості освітлення [1]. Крім того, є підтвердженням того, що якісне освітлення - це не тільки ефективність, відтворюваність, нешкідливість для навколишнього середовища, але й забезпечення індивідуального комфорту, гарного самопочуття, настрою, здоров'я й безпеки. При цьому, існуюче розуміння ефективності використання електроенергії, що визначається кількістю споживаної енергії, враховує тільки візуальні потреби при мінімальній кількості електричної енергії, але не враховує кількість циркадного світла.

Розуміння формування циркадних реакцій, їх особливостей, відмінностей від зорового процесу та їх великої значності для здорового існування людини потребує створення нової концепції так званого циркадного освітлення, що забезпечить комфортні умови для виконання зорових завдань, але й при цьому не порушить природного циклу розвитку та існування людства. Загалом, мета якісного освітлення для циркадної системи - це створення постійної 24-годинної організованої моделі поведінки людини. Іншими словами, кожна людина повинна мати досить циркадного світла під час періодів активності та відсутність останнього (циркадну темряву) під час відпочинку і сну.

## 3. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Світло за впливом як на зорову, так й циркадну систему, описується такими первинними даними: кількість, спектр, розподіл, синхронізація та тривалість дії [1-3]. Спектральна чутливість нового фоторецептора неоднакова до світла різних довжин хвиль. Оптичне випромінювання в діапазоні  $\lambda = 430-470$  нм впливає на утворення в організмі людини гормону втоми - «мелатоніна».

Виходячи з експериментальних даних для спектрального впливу ефекту зменшення секреції мелатоніна під дією світла деяких довжин хвиль,

Д. Галл запропонував спектральну функцію циркадної ефективності  $s(\lambda)$  з максимумом в блакитній частині спектра [4-6].

Можливості візуальної системи різко контрастують з особливостями циркадної системи, хоча, головне, вони обидві мають фоторецептори і нейрони в сітківці, що необхідні для обробки світла. Циркадна система, зовсім не схожа на зорову систему та є відносно нечутливою до просторової інформації у візуальному середовищі [5-7].

Таким чином, якісне циркадне освітлення повинно створювати умови світлового середовища за допомогою засобів, що засновані на фундаментальній оцінці кількості, спектру, розподілу, тривалості дії та синхронізації світла для забезпечення гармонізації біологічних годинників з життєдіяльністю людини.

## 4. Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою даного дослідження є узагальнення результатів розробки методів оцінки та засобів вимірювання незорового впливу видимого світла. Комплексний підхід до розв'язання проблеми урахування біологічної дії видимого світла включає в себе такі основні напрямки:

- визначення нової ефективної величини та розробка стандарту, що містить основні величини, символи та спектр дії циркадного ефекту;
- розробка засобів вимірювання циркадних характеристик джерел світла, що надають можливість проводити аналіз ефективності останніх, щодо циркадної системи людини;
- розробка концепції формування якісного світлового середовища за критеріями циркадної ефективності;

## 5. Виклад основного матеріалу дослідження

**Визначення нової ефективної величини та розробка стандарту.** Створення вітчизняного стандарту, що визначить основні величини, символи та спектр дії невізуального (циркадного) ефекту світла на людину, стане першим кроком в вирішенні питань оцінки світла щодо біологічних ефектів, встановлених властивостями фоточутливих нейронів, що відносяться до сітківки ока у видимому діапазоні оптичного випромінювання, тобто від 380 до 580 нм.

Функцію циркадної ефективності визначено для спектрального впливу ефекту пригнічення мелатоніну під дією світла деяких довжин хвиль.

За допомогою цієї функції можна розрахувати енергетичні циркадні характеристики:

$$X_{ec} = k \int X_{ex} c(\lambda) d\lambda .$$

Якщо обрати константу  $k$ , що дорівнює максимальній фотометричній ефективності випромінювання ( $k_m = 683$  лм/Вт), отримаємо так звані «циркадні світлові величини» (індекс  $s$ ). Постійна  $k = 1$  зробить  $X_{ec}$  «циркадною енергетичною величиною  $X_{ec}$ ».

Таким чином, отримані наступні циркадні величини:

1. Циркадний світловий потік  $\phi_c$  [Лм<sub>c</sub>]

$$\phi_c = k_m \int \phi_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

2. Циркадна сила світла  $I_c$  [Кд<sub>c</sub>]

$$I_c = k_m \int I_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

3. Циркадна освітленість  $E_c$  [Лк<sub>c</sub>]

$$E_c = k_m \int E_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

4. Циркадна яскравість  $L_c$  [Кд<sub>c</sub>/м<sup>2</sup>]

$$L_c = k_m \int L_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

5. Циркадна експозиція  $H_c$  [Лк<sub>c</sub>·год]

$$H_c = \int E_c dt$$

6. Циркадна світлова віддача  $\eta_c$  [Лм<sub>c</sub>/Вт]

$$\eta_c = \frac{\phi_c}{P}$$

7. Коефіцієнт циркадної ефективності  $a_{cv}$

$$a_{cv} = \frac{k_m \int_{380}^{780} X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda}{k_m \int_{380}^{780} X_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda} = \frac{\int_{380}^{780} X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} X_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda}$$

## 6. Розробка засобів вимірювання циркадних характеристик джерел світла та метрологічного забезпечення вимірювачів

Спектральна крива циркадної ефективності  $c(\lambda)$  дає можливість відтворювати основну циркадну світлову величину, якщо існує фільтр, який призводить відносну чутливість приймача до  $c(\lambda)$ , і якщо відома абсолютна спектральна чутливість приймача з фільтром на будь-який довжині хвилі.

Тобто, ідеологія побудови приладу базується на використанні фотоприймачів, спектральні характеристики яких відповідають відносній спектральній кривій циркадної ефективності  $c(\lambda)$ , за аналогією із люксметром – відносній спектральній ефективності  $V(\lambda)$  [3].

Кафедрою світлотехніки ХНАМГ спільно з ННЦ “Інститут метрології” м. Харків розроблені прилади ЦЕР-1 і ЦЕР-2, що можуть використовуватись в якості робочих засобів вимірювань циркадних параметрів джерел світла [8,9]. Для атестації, первинної і періодичної повірки приладів, розроблено метрологічну установку на базі метрологічного забезпечення фотометрів та яскравомірів, для вимірювання світлових параметрів [10].

Контрольний фотометр складається із зразкового вимірювача, прецизійного перетворювача струм-напруга, який призначено для перетворення фотоструму у пропорційну напругу. Межі основної відносної похибки вимірювань циркадної освітленості від джерел типу А якого не перевищує  $\pm 3\%$ . При калібруванні контрольного вимірювача отримані такі залежності:

залежність струму від сигналу АЦП для двох каналів вимірювання

$$I_V = 7,782 \cdot 10^{-8} \text{ADC} + 8,147 \cdot 10^{-7},$$

$$I_C = 3,62 \cdot 10^{-8} \text{ADC} + 1,046 \cdot 10^{-7};$$

залежність освітленості від сигналу АЦП для двох каналів вимірювання

$$E_V = 2,765 \text{ADC} + 2,895,$$

$$E_C = 3,086 \text{ADC} + 8,91.$$

## 7. Розробка концепції формування якісного світлового середовища

П'ять основних характеристик світла є основними критеріями, що визначають ефективність як зорової так й циркадної системи, вони й лягли в основу концепції створення якісного освітлення.

Для кращого розуміння та узагальнення існуючих даних та результатів багатьох теоретичних та експериментальних досліджень в табл. 1 наведено основні положення концепції якісного освітлення з урахуванням біологічного впливу світла.

Таблиця 1

Основні критерії ефективності дії світла для зорової та циркадної систем

Світлова характеристика	Призначення		
	зорова система	циркадна система (вдень)	циркадна система (вночі)
кількість	низький рівень (300-500 лк на робочій поверхні, близько 100 лк на очі)	високий рівень (близько 1000 лк на очі)	високий рівень (близько 1000 лк на очі)
спектр	денного світла (максимум чутливості 555 нм)	короткохвильового світла (максимум 420-480 нм)	короткохвильового світла (максимум 420-480 нм)
просторовий розподіл	важливий для виконання зорової задачі	не залежить від розподілу	не залежить від розподілу
синхронізація	в будь-який час	суб'єктивно зранку	періодично протягом зміни
тривалість дії до настання реакції	дуже коротка (менш 1 с)	довго (1-2 год)	недовго (імпульси 15 хв)

## 8. Висновки

Зрозуміло, отримання якісних освітлювальних технологій та програм для циркадного регулювання потребує створення основ циркадної фотометрії, методів оцінки та засобів вимірювання основних циркадних характеристик світла з урахуванням певного набору критеріїв ефективності світла.

На основі детального вивчення особливостей циркадної системи людини та узагальнення результатів експериментальних та теоретичних досліджень створено концепцію формування якісного світлового середовища за критеріями циркадної ефективності освітлення.

Фундаментальна оцінка кількості, спектру, розподілу, тривалості дії та синхронізації світла забезпечить необхідний набір засобів і методів проектування для подальшої інтеграції потреб зорової та циркадної систем.

Кінцевою метою є створення глобальних стандартів і норм проектування біологічно ефективного освітлення. Це завдання навряд чи може бути досягнуто поодино, бо вимагає співробітництва декількох комітетів зі стандартизації. Зроблено перший крок по даному напрямку, що включає опис параметрів освітлення біологічних ефектів та пропозиції щодо технічних засобів вимірювання.

#### Література

1. Иоффе, К. И. Биологическое влияние видимого света на организм человека [Текст] / К. И. Иоффе // Светотехника и электроэнергетика. - 2008. - №3. - С. 21-29.
2. Fukuhara, C. et al. Peripheral circadian oscillators and their rhythmic regulation - *Frontiers in Bioscience*. 2003. No 8. P. 642-651.
3. Справочная книга по светотехнике [Текст] / под ред. Ю. Б. Айзенберга. - 3-е изд. перераб. и доп. - М. : Знак, 2006. - 972 с.
4. Rea, MS. et al. Circadian photobiology: An emerging framework for lighting practice and research - *Light Res Technol*. 2002. No 34(3). P. 177-190.
5. Gall, D. Circadiane Lichtgrößen und deren meßtechnische Erfassung, *Licht* 7-8, 2002, 860-871.
6. Berson, D.M. Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors – *Trends Neurosci*. 2003. No 26(6). P. 314-334.
7. Brainard, G.C. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor – *J Neurosci*. 2001. No 21. P. 6405-6412.
8. Создание пары фотодиод-светофильтр для измерения циркадных величин: матеріали VII міжнар. наук-техн. конф. [«Метрологія та вимірювальна техніка»], (X., 12-14 жовтня 2010 р.) / Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, Національний науковий центр «Інститут метрології». - X. : ННЦ «Інститут метрології», 2010. - Т. 2. - 349 с.
9. Измерение циркадных характеристик видимого света : матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. [«Сучасні проблеми світлотехніки та електроенергетики»], (X., 13-14 квітня 2011 р.) / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Харківська національна академія міського господарства. - X. : ХНАМГ, 2011. - 178 с.
10. Боднар, Л. М. Установка для проверки фотометров [Текст] / Л. М. Боднар, Л. А. Назаренко, Ю. С. Шульман, Б. Г. Шабашкевич // Збірник наукових праць II Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірювальна техніка». - 1999. - С. 35-37.

#### Abstract

*The article justifies the need of an integrated approach to the problem of biological effect of visible light. There are the results of development of methods for assessment and measurement of nonvisual impact of visible light. It was suggested to create the bases of circadian photometry by determining a new effective value and standard, which includes the basic values, symbols, and the spectrum of the circadian effect. The general methodology of development of measuring means of circadian characteristics and metrological support of meters was shown. The results of the calibration of control meter of circadian characteristics were given. On the basis of the detailed study of the human circadian system and summary of the results of experimental and theoretical studies, the concept of the formation of quality light medium was created. The possibility to create new quality lighting systems was proven. It possesses a great practical interest with the suggested concept of normalization of lighting systems according to circadian performance criteria*

**Keywords:** *biological clock, circadian light, nonvisual impact, quality, synchronization, measurement, standard*