

УДК 389:535.24

ИЗМЕРЕНИЕ ЦИРКАДНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ СВЕТА

Назаренко Л.А.¹, Иоффе К.И.¹, Тимофеев Е.П.²¹Харьковская Национальная академия городского хозяйства²ННЦ «Институт метрологии», г. Харьков

Рассмотрены вопросы влияния света на организм человека, а именно биологического воздействия излучения видимой области спектра. Предложена конструкция макета радиометрического прибора для количественной оценки биологического действия света на организм человека.

Ключевые слова: циркадная эффективность, биологическое воздействие, количественная оценка воздействия излучения, фоторецепторы, коэффициент циркадной эффективности, контроль параметров оптического излучения

Введение

Свет как неотъемлемый элемент жизненной среды человека влияет на здоровье людей любого возраста, при любых видах и условиях работы, занятий и отдыха.

Воздействие света на человека определяется, с одной стороны, количественными и качественными параметрами световой среды, с другой — закономерностями физиологической оптики, возрастной анатомии, психофизиологии зрения и фотобиологии. Светотехника имеет дело с оптическим излучением, то есть электромагнитным излучением с длинами волн примерно от 200 нм до 1 мм, лежащими в области между рентгеновскими лучами и радиоизлучением. Излучения всей оптической области спектра — видимого, ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов — участвуют в биологических процессах организма, необходимы для человека и оказывают благоприятное влияние на здоровье в достаточно широких пределах интенсивностей. От условий освещения во многом зависит также комфортность среды, влияющая на эмоциональное состояние человека, уровень его активности, самочувствие и настроение, немаловажные для поддержания физического и психического здоровья.

Учет влияния света на здоровье человека является главной задачей специальной отрасли профилактической медицины — гигиены освещения, научно обоснованные рекомендации которой направлены на оптимизацию световой среды в местах обитания человека [1].

Обеспечение надлежащих условий труда во всех сферах производственной деятельности человека

является одной из важнейших задач социально-экономической политики государства, что зафиксировано в Законе Украины «Об охране труда» [2] и Трудовом кодексе Украины [3].

Важное место в гигиене труда занимают так называемые физические факторы производственной среды, среди которых освещение занимает особое место, так как его наличие является необходимым условием выполнения любой работы.

Проблемы, связанные со зрительными и биологическими влияниями освещения ставят перед ведущими светотехниками задачу создания новых правил и норм проектирования в комплексе учитывающих все уже известные и вновь узнанные аспекты освещения. В последние годы значительно расширилось применение света, прежде всего для различных технологических целей в промышленности, сельскохозяйственном производстве, медицинских и других учреждениях (в частности для оздоровительного облучения, обеззараживания воздуха и воды, фотохимической технологии, выращивания растений, облучения животных, птицы и др.). Возникли новые разделы светотехники, не связанные с глазом как приемником излучения.

Из исследований биологического воздействия освещения следует, что правила проектирования осветительных установок, полезных для здоровья, не вполне совпадают с общепринятыми на практике.

В настоящей работе показана необходимость создания новых систем измерения биологического действия оптического излучения видимой области спектра на организм человека.

Материалы и методы исследования

- Проведен анализ отечественного и мирового опыта исследований биологического воздействия света на организм человека.
- Рассмотрены вопросы определения циркадных эффективных величин.
- Предложена конструкция макета нового радиометрического прибора для количественной оценки воздействия света на организм человека.

Результаты и их обсуждения

Механизм воздействия видимого света на организм человека

Наиболее существенным для человека участком оптического спектра является видимый свет, то есть излучения с длинами волн от 380 нм до 770 нм [1].

Видимый свет обеспечивает возможность зрительного восприятия, дающего до 90% информации об окружающем мире, влияет на тонус центральной и периферической нервной системы, на обмен веществ в организме, его иммунные и аллергические реакции, на работоспособность и самочувствие человека.

До настоящего времени специалисты светотехники знали, что свет, прямо попадающий в глаз человека, может вызывать нежелательные ощущения блескости. Однако, такой свет может иметь большое значение вследствие своего биологического воздействия, которое необходимо для сохранения здоровья человека.

Организм человека сформировался под воздействием 24-часового биоритма («циркадного ритма») с активной дневной фазой и фазой отдыха ночью. Свет синхронизирует повторяемость этого биоритма. Световые сигналы регулируют внутренние часы независимо от известных рецепторов, благодаря которым мы видим окружающий мир [4].

В связи с этим большое значение имеют исследования [5,6], в которых рассмотрен эффект «циркадных фоторецепторов». Более 150 лет полагали, что в глазу имеются светочувствительные элементы только двух видов: «палочки», реагирующие на свет, и «колбочки», различающие формы и цвет предметов. Связь палочек и колбочек с волокнами зрительного нерва осуществляется посредством «ганглиозных клеток», структурные элементы которых — синапсы — являются конечным звеном в структуре сетчатки. Сетчатка является частью мозга, выдвинутой на пе-

риферию для восприятия света с последующей передачей световых сигналов, трансформируемых в нервные импульсы, в кору больших полушарий головного мозга, где формируются зрительные образы [7].

В 2002 году Дэвидом Берсоном (США) в сетчатке обнаружен новый третий тип фоторецепторов, не участвующий в формировании зрительного восприятия, который отвечает за биологическое воздействие света [8].

Чувствительность нового фоторецептора, конечно, неодинакова к свету различных длин волн. Авторами было показано, что оптическое излучение в диапазоне $\Delta\lambda = 430-470$ нм оказывает прямое воздействие на образование в организме человека мелатонина — «гормона усталости», опосредованно регулирующего циркадную и нейроэндокринную системы организма. При попадании света в эти клетки-рецепторы начинается сложная химическая реакция (с участием меланопсина — фотопигмента в ганглиозных клетках сетчатки) с продуцированием электрических импульсов. После регистрации излучения сигнал проходит по нервным волокнам так называемого ретиногипоталамического тракта к «супрахиазматическим ядрам» — особому нервному узлу, связанному с шишковидной железой мозга. При этом последняя угнетает синтез мелатонина.

На рисунке 1 приведены стандартизованные функции спектральной световой эффективности для дневного — $V(\lambda)$ и ночного — $V'(\lambda)$ зрения, а также предложенная D.Gall спектральная функция циркадной эффективности света [9] — $c(\lambda)$, с максимумом в голубой части спектра между 460 и 500 нм, характеризующая максимальное разрешение мелатонина.

При сравнении двух кривых можно сразу видеть, что биологическая чувствительность к свету с разным спектром значительно отличается от зрительной чувствительности.

Тогда как максимум зрительной чувствительности соответствует желто-зеленому участку спектра, максимум биологической чувствительности по отношению к мелатонину приходится на синий участок спектра. Данные, полученные при анализе кривых, важны для задания технических условий здорового освещения: можно использовать цвет освещения (или лучше оттенок белого света от холодного до теплого белого света) для создания биологически активного или биологически неактивного («расслабляющего») освещения, где и когда это требуется [10].

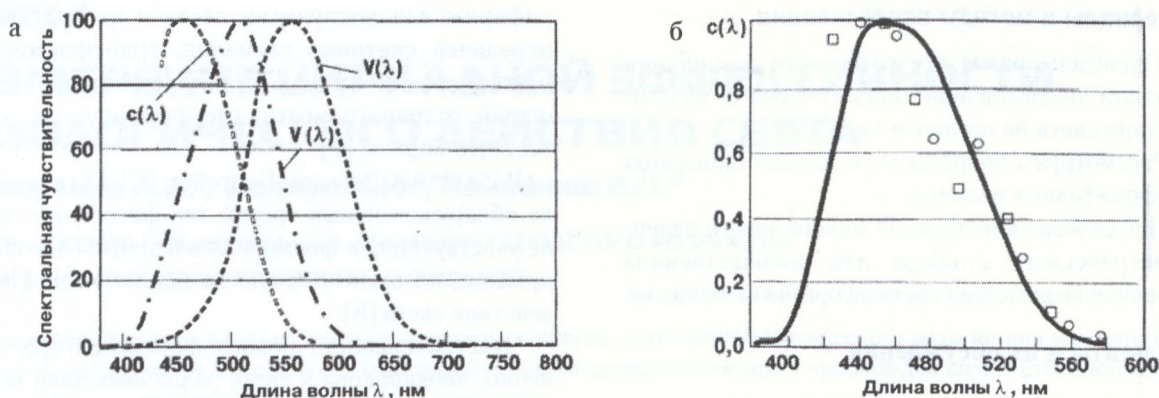


Рис. 1. а) функция спектральной световой эффективности для дневного $V(\lambda)$ и ночного зрения $V'(\lambda)$; б) функция циркадной эффективности $c(\lambda)$.

Определение циркадных величин

Важной задачей, с учетом вышесказанного, представляется разработка новых критериев освещения с учетом новых воззрений и количественная оценка биологического влияния света — построение метрики.

В работе [9] предложено ввести эффективные циркадные величины аналогично световым. Тогда циркадный эффективный фактор (ЦЭФ) определяется как:

$$a_{cv} = \frac{\int_{380nm}^{780nm} E_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} E_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где $V(\lambda)$ — кривая видности;

$c(\lambda)$ — спектральная кривая биологического действия;

$E_{e\lambda}$ — спектральная освещенность.

Этот коэффициент a_{cv} позволяет проводить сравнение между светом разных цветов и может быть измерен посредством приемника, скорректированного к функции $c(\lambda)$.

Соотношение между циркадными X_{ec} и фотометрическими величинами X можно выразить следующим образом:

$$X_{ec} = \frac{a_{cv}}{k_m} X_v, \quad (2)$$

Поэтому одни величины легко могут быть переведены в другие.

Энергетические циркадные характеристики X_{ec} можно рассчитать с помощью соотношения:

$$X_{ec} = k \int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

где $k = 1$.

Функция относительной спектральной циркадной эффективности $c(\lambda)$ позволяет определить циркадное воздействие источников света разных типов.

Коэффициент циркадной эффективности a_{cv} может служить для описания циркадного эффекта и его можно получить из фотометрических величин. Представляется существенным измерение коэффициента циркадной эффективности a_{cv} ламп, светильников и осветительных установок.

Измерение биологического действия света

Не представляет проблемы метрологическое обеспечение измерения коэффициента циркадной эффективности в Украине, в связи с соответствующей идеологией построения спектрорадиометрического эталона и эталона силы света — канделы. Метрология измерения циркадных величин может гармонично вписываться в уже созданную метрологическую инфраструктуру.

В настоящей работе предложена конструкция макета прибора для измерения циркадной эффективности радиометра ЦЭР-1.

Радиометр ЦЭР-1 разработан для контроля параметров оптического излучения различных источников света и количественной оценки биологического воздействия излучения на организм человека. Внешний вид прибора представлен на рисунке 2.

На рисунке 3 показана структурная схема радиометра. Основными частями прибора являются радиометрическая измерительная головка и электронный блок обработки информации. Измерительная головка содержит входной оптический элемент ОИ, воспринимающий измеряемую величину, и следующий за ним приемник излучения ФП, играющий роль первичного измерительного преобразователя оптической величины заданного спектрального диапазона в функционально связанный с ней аналоговый электрический сигнал.



Рис. 2. Внешний вид ЦЭР-1.

Оптическими элементами служат диафрагма Д ($S \sim 1 \text{ см}^2$) и светофильтр СФ для коррекции под спектральную кривую циркадной эффективности $s(\lambda)$. Корректирующий фильтр приводит общую спектральную чувствительность радиометра (кремниевый фотодиод + фильтр) к функции $s(\lambda)$. Электрический сигнал с выхода приемника излучения аналого-цифровым преобразователем АЦП (на аналоге микросхемы 572ПВ5) преобразуется в цифровую форму, а результат отображается на экране регистрирующего устройства РУ (общий диапазон $1 \div 10^5$). Индикаторный блок И — на жидких кристаллах.

Экспериментальная кривая прибора ЦЭР-1 представляет собой суммарную характеристику используемого фотоприемника и светофильтра (рис. 4).

Данный прибор позволяет измерять плотность мощности от 1 мкВт/см^2 до 1000 мВт/см^2 в диапазоне длин волн $400\text{—}500 \text{ нм}$. Предел допускаемого значения основной относительной погрешности измерения не превышает 10%. Напряжение питания — 9 В постоянного тока.

Выводы

Общая оценка условий труда в зависимости от параметров световой среды производится на основании оценок естественного и искусственного освеще-

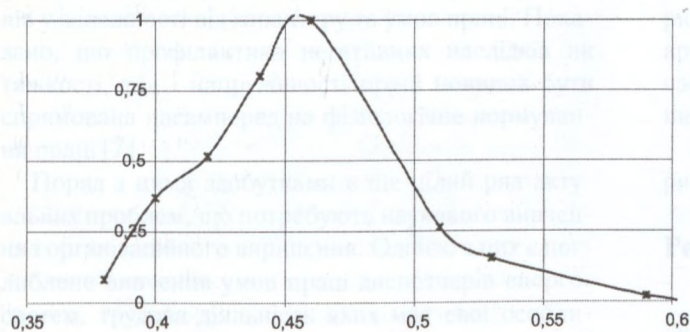
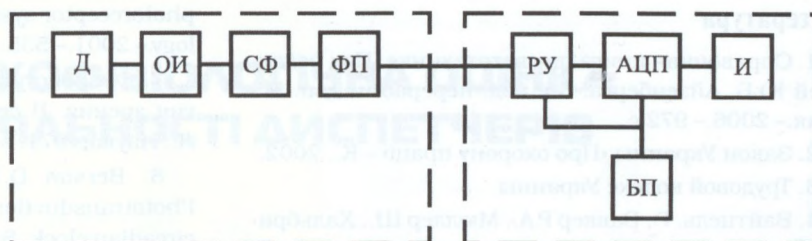


Рис. 4. Экспериментальная кривая прибора.



Д — диафрагма;

РУ — регистрирующее устройство;

ОИ — оптический интегратор;

АЦП — аналого-цифровой преобразователь;

СФ — корректирующий светофильтр;

И — индикатор изображения;

ФП — фотоприемник;

БП — блок питания.

Рис. 3. Структурная схема прибора.

щения путем выбора из них наибольшей оценки степени вредности. Качественный контроль параметров световой среды потребовал разработки соответствующих приборов.

Новые исследования в области воздействия света на человека ставят перед ведущими специалистами задачу создания не только новых правил и норм освещения, а также технических средств измерения биологического воздействия оптического излучения на организм человека.

Решая проблему качества освещения для циркадной системы, необходимо учитывать значимость синей составляющей спектра излучения источников света при создании оптимальных светотехнических систем.

Из соотношения между циркадными и фотометрическими величинами видно, что коэффициент циркадной эффективности может быть получен из фотометрических величин, и служить для описания циркадного эффекта.

Измерение коэффициента циркадной эффективности a_{cv} ламп, светильников и осветительных установок является весьма существенным.

Учитывая все сказанное, можно считать, что радиометр ЦЭР-1 описанной выше конструкции, является относительно точным и чувствительным прибором, предназначенным для измерения и контроля параметров оптического излучения. Измерения с его помощью весьма просты и сводятся к измерению одной электрической величины. По значению этой величины и данным прибора однозначно определяется величина плотности светового потока.

Описанный прибор может быть использован при проведении различных исследований светотехники, где требуется измерение циркадной эффективности, в лабораторных условиях, а также в медико-биологических исследованиях.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике/Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак.- 2006.- 972 с.
2. Закон Украины «Про охорону праці» – К., 2002.
3. Трудовой кодекс Украины.
4. Вайтцель. Р., Ваккер Р.А., Мюллер Ш., Хальбригер В.. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений // Светотехника.- 2005.- № 5.- С. 12-15.
5. Brainard G.C. Photoreception for regulation of melatonin and the circadian system in humans // Fifth International LRO lighting research symposium. Orlando, 2002.
6. Thapan K. et al. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-code

photoreceptor system in humans // Journal of Physiology.- 2001.- 535. 1.- P.261-267.

7. Физиология сенсорных систем. Ч. 1. Физиология зрения. В серии «Руководство по физиологии». Л.: Наука, 1971.
8. Berson D.M., Dunn F.A., Motoharu Takao. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science, February 8, 2002.
9. Gall D. Circadiane Lichtgrößen und deren medtech-nische Erfassung, Licht 7-8 – 2002.- P. 860-871.
10. В. Ван Боммель. Зрительные, биологические и эмоциональные аспекты освещения. Результаты последних исследований и их значение для светотехнической практики // Светотехника, 2005.- № 4.- С.4-6.

Назаренко Л.А.¹, Иоффе К.И.¹, Тимофеев Е.П.²

ВИМІРЮВАННЯ ЦИРКАДНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ СВІТЛА

¹Харківська Національна академія міського господарства

²НАЦ «Інститут метрології», м. Харків

Розглянуто питання впливу світла на організм людини, а саме біологічного впливу випромінювання видимої частини спектра. Запропоновано конструкцію макета радіометричного приладу для кількісної оцінки біологічного впливу світла на організм людини.

Ключові слова: циркадна ефективність, біологічний вплив, кількісна оцінка впливу випромінювання, фоторецептори, коефіцієнт циркадної ефективності, контроль параметрів оптичного випромінювання

Nazarenko L.A.¹, Ioffe K.I.¹, Timofeyev E.P.²

MEASURING CIRCADIAN EFFICIENCY OF LIGHT BIOLOGICAL EFFECT

¹Kharkiv National Municipal Academy, Ukraine

²SRC «Institute of Metrology», Kharkiv

Questions on the effect of light on the human body, biological effect of radiation of the visible part of spectrum, in particular, have been considered. The design of the radiometry device for the quantitative estimation of the biological effect of light on the human body is proposed.

Key words: circadian efficiency, biological effect, quantitative estimation of the effect of radiation, photoreceptors, coefficient of circadian efficiency, control of parameters of optical radiation

Поступила: 27.12.2007

Контактное лицо: Иоффе Кристина Игоревна, инженер кафедры светотехники и источников света, Национальная академия городского хозяйства, ул. Революции, 12, Харьков, Украина, тел.: (057) 707-32-42.