Перспективы развития осветительных систем

Е.Н.Савкова,
к. т. н., доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ

Н.М. Журавков,
к. т. н., доцент кафедры «Охрана труда» БНТУ

О.С. Заяц,
студентка кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ

Стандартизация и нормирование освещения

Проектирование освещения помещений вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, устройств местного освещения осуществляется в соответствии с СНБ 2.04.05-98 [14], регламентирующими требования к коэффициенту естественного освещения, освещенности, допустимым сочетаниям показателей ослепленности и коэффициента пульсации освещенности, показателю дискомфорта и минимальному индексу цветопередачи источников света и диапазону их цветовой температуры.

В плане нормирования положение о зависимости биологического действия света от его спектральной характеристики совпадает с регламентируемыми требованиями достаточного естественного освещения в помещениях с длительным пребыванием людей, особенно для детей или больных людей [15], а также с рекомендациями норм по использованию ламп с высокой цветовой температурой (до 6 000 К), то есть с достаточно «холодным» спектром излучения в помещениях для активной деятельности человека, а ламп с более низкой цветовой температурой (2 700–3 500 К) — в помещениях для от-

Архитектурное освещение традиционно преследует четыре цели:

1) создание наилучших условий для зрительной работы;
2) обеспечение зрительного комфорта;
3) обеспечение эстетичности освещаемого пространства;
4) экономию электроэнергии [2].

Проектировщики зданий и их осветительных систем должны решать комплексную задачу, заключающуюся в оптимизации организации жизненного или рабочего пространства с учетом аспектов энергосбережения. В данной работе рассмотрены новые направления развития осветительных систем в жилых и производственных помещениях с учетом влияния спектрального состава светового излучения на психофизиологические характеристики людей.

Феномен зрительного восприятия света. Свет, условно определяемый как электромагнитное излучение в диапазоне длин волн 380–760...780 нм, вызывающее ощущение яркости (стимулирующее зрительный аппарат человека), характеризуется системой фотометрических и колориметрических величин. Под цветом следует понимать трехмерную величину, численно оценивающую воздействие светового потока на орган зрения стандартного наблюдателя. В соответствии с ГОСТ 13088 «цвет есть аффинная векторная величина трех измерений, выражающая свойство, общее всем спектральным составам излучения, визуально неразличимым в колориметрических условиях наблюдения».

Так как фотоприемной системой является человеческий глаз, при разработке осветительных систем необходимо учитывать особенности зрительного восприятия, обусловленные его строением (рисунок 1).

Сетчатка глаза состоит из нервных окончаний имеющих вид палочек и колбочек. Колбочки создают ощущения различных цветовых тонов, но обладают малой светочувствительностью. Палочки обладают большей светочувствительностью, но создают при действии на них любых излучений ощущение только черно-белых тонов. Расположены колбочки и палочки по сетчатке глаза неравномерно. Поле зрения условно делят на 3 части:

зона наиболее четкого видения — центральная зона с полем зрения приблизительно 2°;

зона ясного видения, в пределах которой (при неподвижном глазе) возможно опознавание предметов без различения мелких деталей, с полем зрения приблизительно 20° по вертикали и приблизительно 30° по горизонтали;

зона периферического зрения, в пределах которой предметы не опознаются. Поле зрения составляет приблизительно 125° по вертикали и приблизительно 150° по горизонтали.

Видимость близкорасположенных объектов зависит от положения источника света (при ослепляющем воздействии видимость снижается), спектрального состава излучения, от усталости контролера, условий работы

Репозиторий БНТУ

жилых и производственных помещений

дыха [16]. Опубликованы международные нормативные документы, касающиеся фотобиологической безопасности, например, [6, 16, 17]. В современных жилых и рабочих помещениях при освещении их в соответствии с назначением применяется цветовое регулирование, для чего используются светодиоды, качество цветопередачи которых в соответствии с рекомендациями МКО выражается общим индексом цветопередачи R_a. Данный индекс рассчитывается по спектру источников света без учета субъективных особенностей. Поэтому могут возникать ситуации, когда оценки цветопередачи источников света по R_a сильно отличаются от субъективных. В работе [18] показан пример с полноцветными (RGB) светодиодами, субъективно хорошо оцениваемыми, но имеющими очень низкие R_a.

На сегодняшний день не существует официально рекомендованной МКО системы световых измерений в условиях сумеречного зрения, что дает результаты, которые не соответствуют зрительному восприятию. Это особенно касается источников света со значительной долей излучения в синей области спектра, например, современных разрядных ламп и светодиодов [19].

Немецкими специалистами [20, 21] установлено, что для источников света с узким спектральным распределением, как, например, RGB-светодиоды, отчетливо видно различие между оценками цветопередачи по МКО и субъективными. Отсюда следует вывод о необходимости урегулирования этой проблемы. Осуществить это можно или введением субъективных критериев оценки цветопередачи, или соответствующими изменениями метода расчета R_a.

Существуют национальные и международные нормативные документы, определяющие безопасные уровни экспозиций как широкополосного, так и узкополосного световых излучений. При планировании новых экспериментов и приложений с использованием насыщенного голубого света благоразумно учитывать меры безопасности для глаз. Необходимо осуществлять корректировку норм ночного освещения, поскольку уже установлено наличие взаимосвязи между воздействием света, регуляцией мелатонина, нарушениями в циркадной системе и развитием опухолей.

До настоящего времени концепции освещения, изложенные, например, в DIN 5035, считались статичными. Сейчас они должны быть приняты во внимание в проектах освещения и впоследствии их необходимо придерживаться.

Отделение 3 МКО «Среда интерьеров, дизайн освещения» и Отделение 6 МКО «Фотобиология и фотохи-

(шум, вибрация, тепловое воздействие и т. д.). Наиболее важными условиями видимости считают контраст и угловые размеры предмета. Наибольшая величина яркостного контраста достигается при использовании черного и белого цветов. При солнечном освещении контраст отражения для белого цвета составляет 65–80 %, для черного — 3–10 %; яркостный контраст составляет при этом 85–95 %. Столь же высок яркостный контраст черного цвета с желтым фоном; среди других хроматических цветов белый цвет образует наибольший контраст с красным фоном; меньше величина контраста белого с зеленым; еще меньше белого с синим.

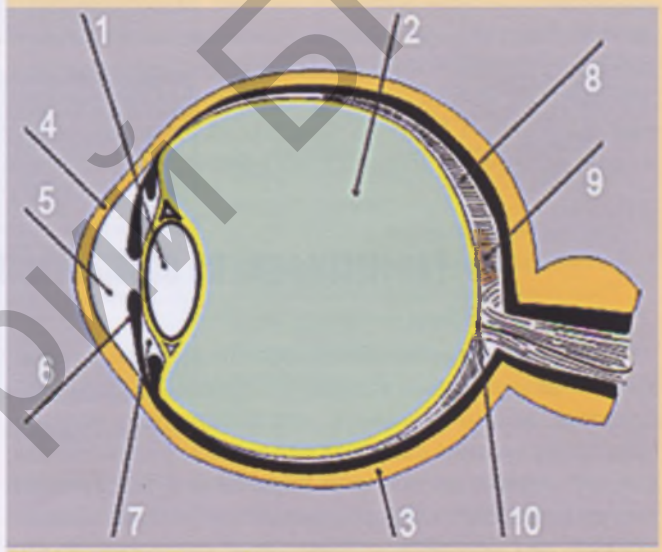

Рисунок 1 – Строение зрительного анализатора:

1 — хрусталик; 2 — стекловидное тело; 3 — белковая оболочка; 4 — роговая оболочка; 5 — передняя камера; 6 — радужная оболочка; 7 — зрачок; 8 — сетчатка глаза; 9 — центральный участок глаза: желтое пятно с цветоразличающими элементами — колбочками; 10 — слепое пятно: выход нервных волокон из сетчатки

Наиболее высокая острота зрения наблюдается при диаметре зрачка 3–4 мм, что соответствует освещенности 100–1 000 лк; при диаметре больше 4 мм, что соответствует освещенности менее 100 лк, острота зрения снижается из-за аберрации оптики глаза; при диаметре меньше 2,5–3 мм (освещенность 2 000–2 500 лк) острота зрения снижается из-за дифракции света. В связи с этим общая освещенность при осмотре деталей не должна быть больше 2 000–2 500 лк. Местная освещенность может быть больше, но для уменьшения отрицательного влияния дифракции света на остроту зрения необходимо снижать отражающую способность фона.

Открытие новой фоторецепторной системы. Открытие нового фотопигмента позвоночных в 1998 году инициировало ряд исследований, которые со временем привели к установлению прежде неизвестного класса фоторецепторов в сетчатке позвоночных, включая человека, — меланопсина, влияющего на незрительные механизмы вос-

Репозиторий БНТУ

мия» начали совместный проект по разработке систем внутреннего освещения зданий на основе зрительных функций их обитателей. МКО также основала специальный технический комитет ТС 1-58, призванный исследовать вопросы фотометрии, основанной на данных по зрительной работоспособности, при яркостях приблизительное менее 10 кд/м^2 и предложить модель функции относительной спектральной эффективности для сумеречного зрения в качестве базы для нее. ТС 1-58 МКО работает над предложением модели $V_m(\lambda)$ для фотометрии в условиях сумеречного зрения, основанной на зрительной работоспособности. Работа этого комитета включает обзор и анализ существующих и новых моделей $V_m(\lambda)$, основанных на зрительной работоспособности. При анализе X должен определиться ряд параметров, соответствующих, например, режиму вождения в темное время суток и принимаемых за базу при сопоставлении моделей. Использование одного и того же ряда параметров на международном уровне при узаконении и сопоставлении существующих моделей дало бы прочное основание для будущей работы такого рода. Проводятся регулярные симпозиумы МКО по тематике «Свет и здоровье», на основе которых издаются материалы, которые в будущем смогут повлиять на пересмотр фотометрических понятий.

Таким образом, нормы освещения, разрабатываемые светотехниками совместно с гигиенистами, периодически пересматриваются с учетом экономических, энергетических и технических возможностей общества в сторону оптимизации условий освещения. В случае определения восприятия фоторецепторами третьего типа излучений, присущих только дневному свету, и фиксации адекватного ответа на них организма будет значительно укреплена база для повышения требований к максимальному использованию естественного освещения с вытекающими из этого последствиями как для совершенствования норм, так и для развития сопутствующих строительных и архитектурных решений; для расширения работ по созданию новых типов полифункциональных ламп, уменьшающих степень денатурации световой среды при компенсации искусственным светом недостаточности естественного освещения. Несомненное значение для совершенствования практики нормирования освещения имеет установленная разница в чувствительности или в распределении фоторецепторов третьего типа в сетчатке глаза.

Рекомендации по совершенствованию осветительных систем

1. Принимая во внимание эффекты подавления мелатонина, фазового сдвига циркадных ритмов и «всплеска» бодрости, можно заключить, что должна быть разработана новая система световых измерений, учитывающая, что свет служит регулятором циркадной и эндокринной систем и вызывает нейроповеденческие реакции. В дальнейшем для создания оптимальных светотехнических систем необходимо включать не только фотометрические, но также и циркадные параметры. Поэтому станет существенным измерение и указание в технической документации коэффициента циркадной эффективности ламп и светильников.

2. Действующие нормативные документы опираются на расчетные значения индекса цветопередачи R_a, источников искусственного освещения, не учитывая его субъективную составляющую. Возможно, результаты проводимых исследований в фотобиологических лабораториях мира станут основанием для внесения корректировок в расчеты данного показателя.

3. При проектировании осветительных систем зданий и сооружений необходимо учитывать дополнительные субъективные аспекты, а именно: функциональное назначение помещений (рабочие или жилые), возраст и особенности находящихся в них людей и т. д. Как было сказано выше, в рабочих помещениях в дневное время суток необходимо устанавливать светильники, максимально приближенные по спектральным характеристикам к дневному свету с доминированием коротковолновой составляющей (сине-голубая область спектра), повышающей работоспособность людей. Учитывая возрастные изменения хрусталика глаза (помутнения), в зданиях, предназначенных для нахождения людей пожилого возраста, днем также необходимо обеспечивать наличие светильников повышенной яркости с доминирующей сине-голубой составляющей, а в вечернее время — с длинноволновой (красной), способствующей релаксации.

4. Так как свет оказывает воздействие на нейроповеденческие функции организма человека, регулируя периоды сна и бодрствования (циркадные ритмы) через недавно открытую фоторецепторную систему ганглиозных клеток сетчатки, установка декоративных подсветок зданий в крупных городах должна предполагать наличие защитных экранирующих средств для проживающих.

5. Наиболее совершенной формой организации освещения, по прогнозам специалистов, станут адаптивные осветительные системы, представляющие собой комбинацию трех основных составляющих — дневного света, искусственного общего рассеянного и искусственного локального направленного освещения. Особенность данных систем в том, что все элементы в них динамичны: в течение суток изменяется интенсивность, цвет и направление светового потока источников незаметно для людей, находящихся в помещении, с учетом субъективных факторов и энергосберегающих аспектов.

Репозиторий БНТУ

приятия света, с максимальной чувствительностью в диапазоне 446–477 нм (голубая область видимого спектра) [3]. В последнее время ряд работ был посвящен возможностям голубого света эффективно воздействовать на фазовый сдвиг циркадных ритмов и усиливать состояние наивысшей бодрости у здоровых индивидуумов [2], что, несомненно, скажется в будущем на дальнейшем развитии архитектурного освещения.

Открытие третьей фоторецепторной системы позволило найти объяснение многим явлениям, связанным с незрительным восприятием оптического излучения, а также направить усилия на исследования таких воздействий. Новый рецептор представляет собой «недостающее звено» в описании механизма биологических воздействий света, управляемого циклической сменой света и темноты [4].

Упрощенная схема нейроанатомических процессов, ответственных за сенсорные способности как зрительной системы, так и незрительной регуляции функций циркадной, нейроэндокринной систем и нейроповеденческих реакций, построенная с использованием [1, 4, 5], представлена на рисунке 2.

Таким образом, в настоящее время известны три фоторецепторные системы, находящиеся в зрительном анализаторе человека: две, ответственные за зрительное восприятие изображений — палочки и колбочки, и третья — меланопсинсодержащие клетки сетчатки, регулирующая нейроповеденческие функции организма.

Свет и хронобиологические ритмы. Человеческое тело приспособилось к 24-часовому ритму с активными фазами в течение дня и отдыхом ночью. Ночью, когда темно, шишковидная железа производит гормон мелатонин, который управляет усталостью человека и потребностью его во сне. Когда подается сигнал о наличии яркости и света к шишковидной железе через оптический нерв, железа подавляет производство мелатонина; когда мало света или его вообще нет, то полное производство гормона возобновляется, и в результате человек получает освежающий, здоровый сон [7].

С изобретением искусственного освещения в ряде случаев произошло нарушение естественного ритма дня и ночи. Имеются данные, что радикальные изменения обычного циркадного ритма человека в течение продолжительного времени могли бы привести к негативным последствиям для здоровья. Лишение организма мелатонина в течение длительного периода времени может оказаться опасным. Предполагают, что световое облучение в ночное время снижает секрецию мелатонина и в высшей степени повышает риск онкологических заболеваний [8, 9]. Так, в развитых странах, где население широко пользуется ночным освещением в домах и на улицах, отмечается непропорционально высокая заболеваемость раком груди и раком толстой кишки [5, 8, 9]. Наряду со всевозможными фототоксическими эффектами ночное световое освещение, возможно, канцерогенно [10, 11].

Н. Миллер в докладе на втором симпозиуме МКО «Свет и здоровье» (Оттава, Канада, 2006) подчеркнул, что считает жизненно важным создание специальных условий освещения для людей преклонного возраста, вплоть до изменения энергетических норм и правил.

Рисунок 2 — Нейроанатомия и свет

Репозиторий ГГТУ

Библиография

1. Шанда Я. Свет как актиничное (фотохимически активное) излучение // Светотехника. — 2006. — № 3 — С. 51–53.
2. Брейнард Г.К., Провенсио И. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека // Светотехника. — 2008. — № 1 — С. 6–12.
3. Provencio I, Jiang G, De Grip WJ, Hayes WP & Rollag MD Melanopsin: an opsin in melanophores, brain, and eye // Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. — 1998. — 95. — P. 340–345.
4. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF & Rollag MD. A novel human opsin in the inner retina. // J. Neurosci. — 2000. — 20 — P. 600–605.
5. Дехофф П. Воздействие изменяющегося света на здоровье людей во время работы. // Светотехника. — 2006. — № 3 — С. 54–56.
6. CIE Processings «Light and Health — non-visual effects» CIE x027:2004.
7. Figueiro, Marianna, 2006. Lighting for Alzheimer's Disease Patient Care. Proceedings of the 2nd Expert Symposium on Lighting and Health, 2006. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienne, Austria.
8. American conference of governmental industrial hygienists. Nonionizing radiation and fields, In Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 2006 — P. 34–46.
9. Brainard G.C., Bernecker C.A. The effects of light on human physiology and behaviour. 1995 CIE Conference New Delhi.
10. Thapan K., Arendt J., Scene D.J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. J Physiol. 535 261-267.
11. Stevens R.G. (2005). Circadian Disruption and Breast Cancer: from Melatonin to Clock Genes. Epidemiology, 16 254-258.
12. Миллер Н. Влияние освещения на самочувствие людей пожилого возраста. // Светотехника. — 2007. — № 1 — С. 24–26.
13. Вернер А. Возрастные изменения пропускания хрусталиком глаза излучений натриевых и металогалогенных ламп высокого давления. Университет Ватерлоо, Канада. // Светотехника. — 2007. — № 2 — С. 15–16.
14. СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение. // Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. — Минск, 1998. — 58 с.
15. Brainard GC & Hanifin JP. The effects of light on human health and behavior: relevance to architectural lighting. // CIE Symposium '04 'Light and Health: non-visual effects x027:2004. — 2004 — P. 2–16.
16. Comission Internationale de l'Éclairage. Testing of supplementary systems of photometry. CIE Central Bureau CIE 141, 2001.
17. CIE Publication No. 13.2, 1988: Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources.
18. Gall D., Lapuente V. Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrums. Licht. 2002. 54. 860-871.
19. Brainard G.C. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for na Novel Circadian Photoreceptor. Journal of Neuroscience. 2001. 21. 6405-6412.
20. Биске К., Вандаал К., Юнгнич К. Субъективные оценки цветопередачи в зависимости от спектра излучения источников света. // Светотехника. — 2007. — № 5 — С. 14–17.