



Евгения Савкова  
Николай Журавков

# Перспективы развития осветительных систем жилых и производственных помещений

Международные дискуссии в авторитетных светотехнических журналах, идущие последние три года, способствуют новым практическим решениям как в нормировании освещения, так и в использовании наиболее совершенных источников света и приемов освещения не только для повышения зрительной работоспособности, но и для сохранения и укрепления здоровья людей. Они вызваны рядом научных открытий в фотобиологии, психофизиологии, медицине и взволновали светотехническое сообщество открывающейся возможностью применить новые знания для создания более здоровой световой среды [1]. Так как архитектурное освещение традиционно преследует четыре цели: создание наилучших условий для зрительной работы, обеспечение зрительного комфорта и эстетичности освещаемого пространства, 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". Во многом развитие светотехники в настоящее время определяется текущим знанием механизма дневного зрения, которое описывается относительной спектральной эффективностью, называемой кривой видности, имеющей максимум при длине волны 555 нм.

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

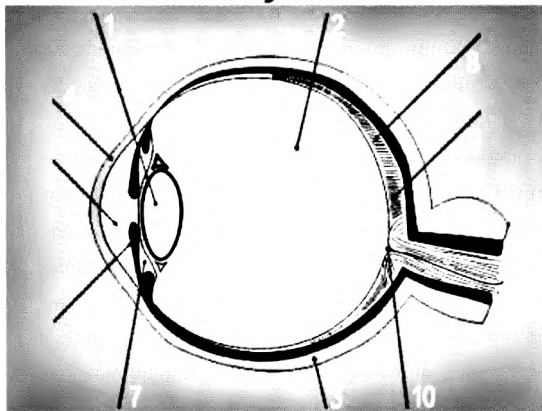


Рис. 1. Строение зрительного анализатора:

- 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

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. В центре сетчатки находится так называемое желтое пятно, плотно покрытое только одними колбочками. Чем дальше от центра, тем колбочек меньше, но появляются палочки. За пределами желтого пятна колбочки почти отсутствуют, на краях сетчатки уменьшается и количество палочек. Поле зрения условно делят на 3 части: зона наиболее четкого видения – центральная зона с полем зрения приблизительно  $2^\circ$ ; зона ясного видения, в пределах которой (при неподвижном глазе) возможно опознавание предметов без различения мелких деталей, с полем зрения приблизительно  $20^\circ$  по вертикали и приблизительно  $30^\circ$  по горизонтали; зона периферического зрения, в пределах которой предметы не опознаются. Поле зрения составляет приблизительно  $125^\circ$  по вертикали и приблизительно  $150^\circ$  по горизонтали.

Каждому из указанных свойств соответствует свой абсолютный порог видимости, ниже которого предмет не может быть виден, сколь бы благоприятными ни были условия наблюдения с точки зрения других факторов. Например, при слишком малой яркости или очень малом контрасте предмет нельзя сделать видимым никаким увеличением угловых размеров или продолжительностью рассматривания.

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

Наиболее высокая острота зрения наблюдается при диаметре зрачка 3–4 мм, что соответствует освещенности 100–1000 лк; при диаметре больше 4 мм, что соответствует освещенности менее 100 лк, острота зрения снижается из-за aberrации оптики глаза; при диаметре меньше 2,5–3 мм (освещенность 2000–2500 лк) острота зрения снижается из-за дифракции света. В связи с этим общая освещенность при осмотре деталей не должна быть больше 2000–2500 лк; местная может быть больше, но для уменьшения отрицательного влияния дифракции света на остроту зрения необходимо снижать отражающую способность фона.

Таким образом, в преобразовании зрительного изображения участвуют два вида фотопигмента – палочки и колбочки. Однако около десяти лет назад была открыта еще одна система восприятия светового излучения, влияющая на нейроповеденческие функции человека, что окажет воздействие на дальнейшее развитие светотехнических систем жилых и производственных помещений.

**Открытие новой фоторецепторной системы.** Открытие нового фотопигмента позвоночных в 1998 г. инициировало ряд исследований, которые со временем привели к установлению прежде неизвестного класса фоторецепторов в сетчатке позвоночных, включая человека, – меланопсина, влияющего на незрительные механизмы восприятия света с максимальной чувствительностью в диапазоне 446–477 нм (голубая область видимого спектра) [3]. В последнее время многие работы были посвящены 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 исследование 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 рис. 2.

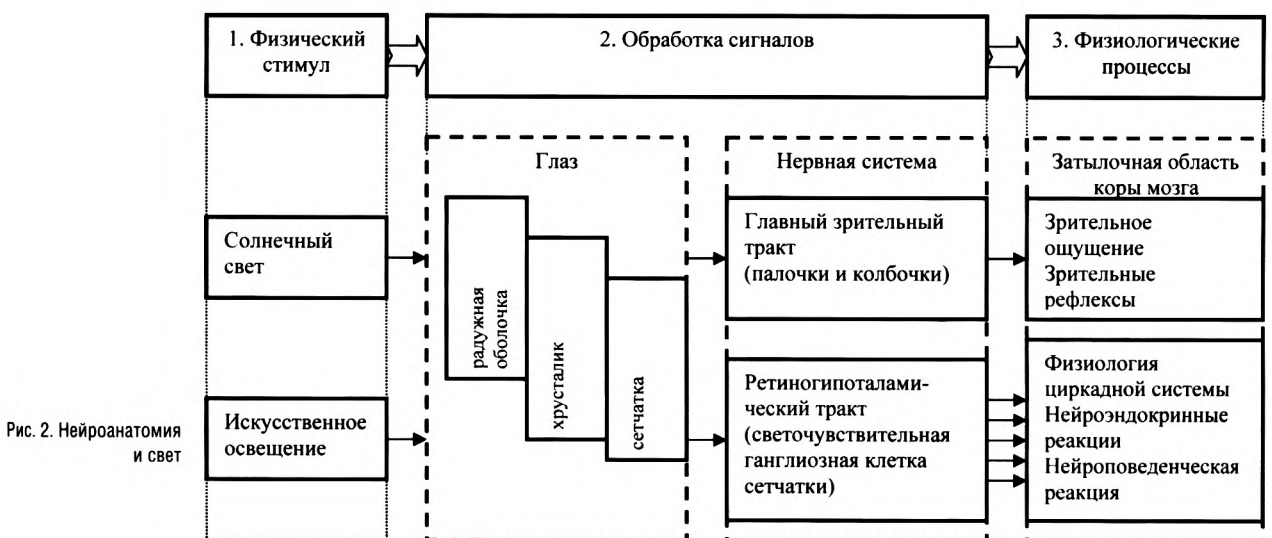


Рис. 2. Нейроанатомия и свет

ГКС активизируются палочками и колбочками и передают сигналы зрительному коммутационному центру, расположенному в таламусе, состоящем из пяти компонентов [1, 4], показанных на схеме пятью стрелками: межколленчатых листов таламуса, вендролатеральных ядер, супрахиазматических ядер, претектальных ядер. Зрительные пути проходят через латеральное колленчатое ядро таламуса к зрительной зоне коры головного мозга, а незрительные нервные пути идут к супрахиазматическим клеткам гипоталамуса, где они вносят свой вклад в целый ряд фундаментальных функций организма [4].

Помимо установленной чувствительности фоторецепторов третьего вида к относительно коротковолновому излучению возникает задача оценки их чувствительности к тем излучениям, которые присутствуют в спектре естественного света, но отсутствуют в спектрах излучения наиболее распространенных искусственных источников света [6].

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 нейропептиденческие 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 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 на протяжении 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 с различными фототоксическими эффектами ночное световое освещение, возможно, канцерогенно [11].

Нарушения циркадных ритмов и изменения в режиме сон – бодрствование – главные факторы риска для здоровья и безопасности астронавтов, которые связаны со снижением уровня бодрости, концентрации внимания и работоспособности [1]. Установлено, что большинство несчастных случаев, вызванных человеческой ошибкой вследствие нарушения циркадных ритмов, происходит между тремя и пятью часами утра [10]. Такими примерами служат катастрофа в Чернобыле, катастрофа танкера Exxon Valdez в штате Аляска и утечка токсичного газа в Бхопале (Индия) [11]. Более мелкие несчастные случаи, включая полученные травмы в процессе дорожного движения, также происходят в это время, что объясняется самой низкой работоспособностью в это время суток.

Циркадные системы пожилых людей более уязвимы, чем у молодых [12]. С возрастом хрусталик глаза желтеет

и снижает пропускание во всей видимой области. По опубликованным результатам исследований, пропускание на длине волны 400 нм к 82 годам снижается до 33% от уровня 12-летнего возраста [12]. Можно улучшать здоровье и самочувствие старшего поколения, увеличивая световую экспозицию в течение дня и сокращая ее ночью. Поэтому основными рекомендациями пожилым людям являются проведение дня в ярко освещенных помещениях, рабочее освещение вечером должно быть слабым, желтого или янтарного спектра (можно использовать очки, защищающие от синего излучения), пользование затеняющими козырьками или глазными повязками для защиты от ночного уличного освещения. Световая экспозиция для пожилых людей является оздоровительным элементом, поэтому исследователи, проектировщики и медицинские работники должны повышать уровень понимания данной проблемы [12].

Н. Миллер в докладе на 2-м 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.

**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 6000 К), т.е. с достаточно "холодным" спектром излучения в помещениях для активной деятельности человека, а ламп с более низкой цветовой температурой (2700–3500 К) – в помещениях для отдыха [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 цветное 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, субъектив-

но хорошо оцениваемыми, но имеющими очень низкие  $R_a$ . Целью исследований было определение влияния спектра источников света на субъективные оценки качества цветопередачи.

В дальнейшем для создания оптимальных светотехнических систем необходимо включать не только фотометрические, но также и циркадные параметры. Поэтому станет существенным измерение коэффициента циркадной эффективности ламп и светильников окружающей среды.

Открытие меланопсинсодержащих СГКС вместе с новыми спектрами действия для восприятия света циркадной системой привело к отчетливому пониманию необходимости разработки новой системы световых измерений. В первых исследованиях эффекта подавления секреции мелатонина у человека использовалась система световых измерений в условиях дневного зрения, рассчитанная на трехкомпонентную колбочковую зрительную систему. Принимая во внимание эффекты подавления мелатонина, фазового сдвига циркадных ритмов и "всплеска" бодрости, можно заключить, что указанная фотометрическая система не соответствует этим реалиям. Должна быть разработана новая система световых измерений, учитывающая, что свет служит регулятором циркадной и эндокринной систем и вызывает нейроповеденческие реакции. Такая фотометрическая система должна основываться на коллективном понимании фоторецептивной физиологии, ретиногипоталамического тракта и его специфической спектральной чувствительности. Разработка этой системы потребует международного сотрудничества ученых, исследующих проблемы, связанные с циркадной системой и зрением, координирующей деятельности МКО. Рекомендуется количественно оценивать свет в единицах облученности или плотности потока фотонов с четким определением спектрального распределения энергии излучения источника света [17].

Исследователи должны всегда указывать спектральное энергетическое распределение использованного излучения (SPD). Могут быть легко изготовлены источники излучения с одинаковой коррелированной цветовой температурой, но с совершенно разными SPD [14]. Фотометрия дает метод оценки света с позиции визуальной спектральной чувствительности человека. Кривые спектральной чувствительности выводятся из психофизиологических экспериментов, основанных на использовании некоторых визуальных критериев и определенного набора условий освещения и наблюдения [9]. На сегодня 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 [9].

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 [5]. Поэтому в настоящее время развивается направление 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 [5]. В опубликованных работах [19, 20] предлагаются модели функции относительной спектральной эффективности для сумеречного зрения: X-модель и MOVE-модель. X-модель ( $V_{mes}(\lambda)$ ) выглядит как линейный переход между относительной спектральной эффективностью для ночного ( $V_m(\lambda)$ ) и дневного зрения ( $V(\lambda)$ ):

$$V_{mes}(\lambda) = X V(\lambda) + (1 - X) V_m(\lambda), \quad (1)$$

$$X = \frac{1}{0,599} L_m - \frac{0,001}{0,599}, \quad (2)$$

где X – параметр, характеризующий долю функции относительной спектральной эффективности для дневного зрения при любом уровне яркости;

$L_m$  – яркость источника света.

При яркостях ниже 0,001 кд/м<sup>2</sup> X = 0, а при яркостях выше 0,6 кд/м<sup>2</sup> X = 1.

MOVE-модель разработана на основе данных экспериментов, выполненных со 109 наблюдателями в нескольких местах с использованием различных зрительных критериев и экспериментальных установок и имеет вид [9]:

$$M(x) V_{MOVE}(\lambda) = x V(\lambda) + (1-x) V_m(\lambda), \quad (3)$$

$$x = 1,49 + 0,282 \log_{10} J_m(x, L_p, L_s),$$

$$J_m(x) = \frac{L_m(x)}{K(x)} = \frac{V_{MOVE}(\lambda_0, x)}{683} L_m(x), \quad (4)$$

где  $V_{MOVE}(\lambda)$  – ФОССЭ для СЗ;

$M(x)$  – функция нормализации, приводящая максимум  $V_{MOVE}(\lambda)$  к единице;

x – коэффициент пропорциональности между функциями относительной спектральной эффективности для дневного и ночного зрения, определяемый методом итераций для данного уровня яркости и спектрального состава фона (для определения x методом итераций необходимы "дневная" яркость  $L_p$  (соответствующая  $V(\lambda)$ ) и "ночная" яркость  $L_s$  (соответствующая  $V(\lambda)$ ) фона);

$K(x)$  – максимальная спектральная световая эффективность, которая приводит ординаты кривых  $V_{mes}(\lambda)$  к значению 683 при  $\lambda_0 = 555$  нм.

В работе [9] измерялись время реакции и пороговый контраст при двух уровнях яркости (0,1 и 1 кд/м<sup>2</sup>), угловом расстоянии мишени от оси зрения 10° и освещении мишени и фона четырьмя светодиодами синего, зеленого, янтарного и красного цвета с различными спектрами излучения. Модели для сумеречного зрения базируются на условии, что при фиксированных освещении и условиях наблюдения (размер мишени, ее эксцентриситет и т.д.) одинаковым уровнем зрительной работоспособности соответствует одинаковая сумеречная яркость  $L_m$ . Поэтому различные комбинации  $L_p$  и спектров ламп могут давать одну и ту же  $L_m$  при одном и том же уровне зрительной работоспособности, что было взято в основу метода исследования и сопоставления X- и MOVE-моделей

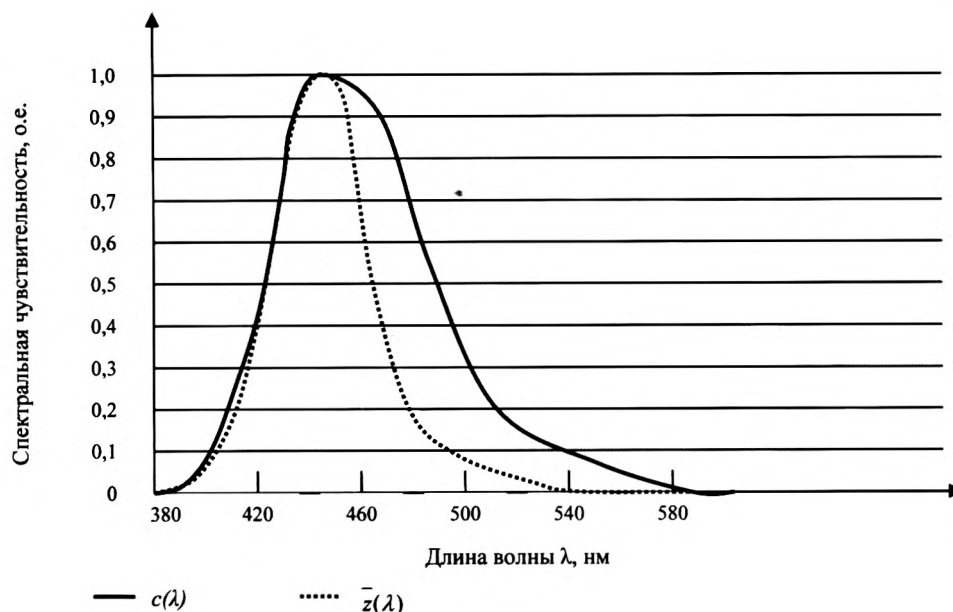


Рис. 3. Стандартная функция МКО  $\bar{z}(\lambda)$  трехцветного колориметра НСТ-99

ФОССЭ для СЗ ( $V_m(\lambda)$ ) по точности предсказаний. Различия между моделями проявились при ухудшении условий видимости, т.е. при низких яркостях и контрастах.

В работе [4] на основе экспериментальных данных, полученных для спектрального воздействия эффекта подавления секреции мелатонина под действием света некоторых длин волн [15, 20], определена функция циркадной эффективности  $c(\lambda)$ , с помощью которой рассчитаны энергетические циркадные характеристики  $X_{ec}$ :

$$X_{ec} = K \int X_{ek} c(\lambda) d\lambda, \quad (5)$$

где  $K = 1$ .

Отношение интегралов циркадных и фотометрических характеристик в работе [19] назвали коэффициентом циркадной эффективности:

$$a_{cv} = \frac{\int X_{ek} c(\lambda) d\lambda}{\int X_{ek} v(\lambda) d\lambda}. \quad (6)$$

Коэффициент  $a_{cv}$  позволяет проводить сравнение между светом разных цветов. Соотношение между циркадными  $X_{ec}$  и фотометрическими величинами  $X_v$  можно выразить следующим образом [4]:

$$X_{ec} = \frac{a_{cv}}{K_m} X_v. \quad (7)$$

Поэтому одни величины могут быть легко переведены в другие.

Спектральные световые распределения измеряют на спектро радиометрах, расчет характеристик проводят по формулам (5) – (7).

Для корригирования детекторов к определенной световой чувствительности (эффективности) можно использовать фильтры. Спектральная чувствительность цифровой камеры Rollei к излучению синего цвета [21] подобна функции циркадной эффективности  $c(\lambda)$ . Измерительная камера LMK снабжена специальным фильтром, создающим хорошую корриговку к  $c(\lambda)$ . Эти устройства позволяют проводить измерения  $a_{cv}$  с пространственным разрешением [4]. В качестве первого приближения коэффициент циркадной эффективности  $a_{cv}$  может быть также измерен приемником стан-

дартной функции МКО  $\bar{z}(\lambda)$  [4]. Для этого можно использовать трехцветные колориметры. Кривая функции спектральной чувствительности Z-детектора огибает кривую  $c(\lambda)$  (рис. 2). Используя Y-характеристику, можно измерить фотометрическую характеристику.

Для оценки коэффициента  $a_{cv}$  можно измерить координаты цветности МКО и рассчитать по формуле [4]:

$$a_{cv} = \frac{\int X_{ek} \bar{z}(\lambda) d\lambda}{\int X_{ek} v(\lambda) d\lambda} = \frac{z}{y} = \frac{1-x-y}{y}. \quad (8)$$

Авторы [20] нанесли на график цветности значения коэффициента  $a_{cv}$  для различных длин волн.

При совершенствовании норм с учетом новых открытий возможно повышение общебиологического воздействия искусственного освещения путем повышения интенсивности светового потока от светильников общего освещения и использования в них лампы с достаточным излучением в коротковолновой области спектра видимого излучения [5]. Это смогло бы стать альтернативой к использованию комбинации осветительных ламп с источниками ультрафиолетового излучения.

Немецкими специалистами [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 данной проблемы. Осуществить это можно 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 плани-

ровании новых экспериментов и приложений с использованием насыщенного голубого света благо-разумно 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 в последствии их необходимо твердо придерживаться.

Отделение 3 МКО "Среда интерьеров, дизайн освещения" и отделение 6 МКО "Фотобиология и фотохимия" 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 приблизительно менее 10 кд/м<sup>2</sup>, 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. Деятельность этого комитета включает обзор и анализ существующих и новых моделей  $V_m(\lambda)$ , базирующихся на зрительной работоспособности. При анализе  $X$  должен определяться 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 регуляторные симпозиумы МКО по тематике "Свет и здоровье", на основе которых издаются материалы, в будущем могущие 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 организм будет значительно укреплен 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, а также 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.

## Литература

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. 95, pp. 340–345, 1998.
4. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF & Rollag MD. A novel human opsin in the inner retina, J. Neurosci. 20, p. 600–605, 2000.
4. Provencio I, Rodriguez IR, Jiang G, Hayes WP, Moreira EF & Rollag MD. A novel human opsin in the inner retina, J. Neurosci. 20, p. 600–605, 2000.
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 Alzheimers 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, p. 34–46, 2006.
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, p. 261–267.
11. Stevens, R.G. (2005). Circadian Disruption and Breast Cancer: from Melatonin to Clock Genes. Epidemiology, 16. P. 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 металлогалогенных ламп высокого давления // 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, p. 2–16, 2004.
16. Comission Internationale de l'Eclairage. 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. Gail, D., Lapuente, V. Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines fuerlicher Lampenspektrums. Licht. 2002. 54. S. 860–871.
19. Figueiro, Marianna, 2006. Lighting for Alzheimers Disease Patient Care. Proceedings of the 2nd Expert Symposium on Lighting and Health, 2006. Commission Internationale de l'Eclairage, Vienne, Austria.
20. Brainard G.C. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for na Novel Circadian Photoreceptor. Journal of Neuroscience. 2001. 21. 6405–6412.
21. Биске, К., Вандаал, К., Юнгич, К. Субъективные оценки цветопередачи в зависимости от спектра излучения источников света // Светотехника. – 2007. – № 5. – С. 14–17.