



СВЕТ и здоровье

Н.М. ЖУРАВКОВ, кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда» Белорусского национального технического университета,

Е.Н. САВКОВА, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета, специалист в области светотехники, фотометрии и колориметрии

В процессе трудовой деятельности важную роль играет освещенность, влияющая на анализаторные функции и напряженность внимания, особенно в темное время суток и при работе в третью смену. Поэтому одной из основных задач проектировщиков освещения является обеспечение комфортных условий труда, повышающих работоспособность и снижающих риски возникновения профессиональных заболеваний. Свет и здоровье – наиболее актуальная тема светотехнических исследований в настоящее время.

Последнее десятилетие ознаменовалось рядом научных открытий в области воздействия спектрального состава оптического излучения на зрительные, биологические и эмоциональные механизмы, что отражено в отечественных и зарубежных опубликованных работах. Результаты проводимых исследований, уже нашедшие практическое применение, например, в светотерапии, являются еще недостаточными для изменения нормативной базы, однако можно выделить ряд тенденций, которые в будущем могут изменить номенклатуру фотометрических понятий, позволят существенно повысить безопасность, работоспособность и эффективность мероприятий по охране труда. Международные дискуссии, организуе-

мые авторитетными светотехническими журналами, будут способствовать 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.

Искусственное освещение становится динамичным элементом при проектировании помещений: с развитием электроники и автоматизации стало возможным изменять параметры осветительных систем с учетом специфических требований. Чтобы определить данные требования, необходимо изучить механизмы зрительных и незрительных воздействий освещения на организм человека.

ФОТОРЕЦЕПТОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Свет условно определяют как электромагнитное излучение в диапазоне длин волн 380–750...780 нм, вызывающее ощущение яркости, то есть стимулирующее зрительный аппарат человека. Световое излучение может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на организм через кожу и зрительный анализатор. Оптическое излучение может способствовать образованию витамина D, а также вызывать термические или фотохимические повреждения тканей, как острые, так и хронические. Воздействия оптического излучения на кожу достаточно хорошо изучены: в нормативных документах приводятся ограничения экспозиций оптического излучения и методы оценки электрических источников света в отношении опасности повреждения тканей.

Что касается воздействия на глаза, то до недавнего времени полагали, что в зрительном анализаторе существует два вида фотоприемников, участвующих в преобразованиях светового излучения: палочки и колбочки, для которых была определена кривая видности с максимумом 555 нм



для дневного зрения. Однако многочисленные исследования, проводимые в последнее тридцатилетие на здоровых людях, подтвердили существование третьего вида фоторецепторов – меланопсина – молекулярного образования, находящегося в ганглиозных клетках сетчатки (ГКС), которые ответственны за суточные (циркадные) ритмы чувствительности к свету (что подтверждают исследования, проводимые на слепых мышах и слепых людях). Меланопсинсодержащие ГКС непригодны для создания изображения, так как имеют обширную ветвистую структуру и сравнительно большой радиус, но являются оптимальными для пространственного широкого захватывания света из окружающей среды. Наибольшую чувствительность ГКС имеют в диапазоне 446–477 нм (голубая область спектра). 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.

Упрощенная схема нейроанатомических процессов, ответственных за сенсорные способности как зрительной системы, так и незрительной регуляции функций циркадной, нейроэндокринной систем и нейроповеденческих реакций, представлена на рисунке 1.

ГКС активизируются палочками и колбочками и передают сигналы зрительному коммутационному центру, расположенному в таламусе, состоящем из пяти ком-

понентов, показанных на схеме пятью стрелками: межколленчатых листков таламуса, вентролатеральных 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.

Помимо установленной чувствительности фоторецепторов третьего вида к относительно коротковолновым излучениям, возникает задача оценки их чувствительности к тем излучениям, которые присутствуют в спектре естественного света, но отсутствуют в спектрах излучения наиболее распространенных искусственных источниках света.

Выделяют полихроматические и аналитические спектры действия. Полихроматические определяют с использованием широкополосных световых стимулов, имеющих полуширину

свыше 15–20 нм, или с выделением отдельных длин волн спектра искусственного или естественного «белого» света. Полихроматические спектры действия используют для:

- 1) идентификации взаимодействий биологических реакций на полихроматическое излучение;
- 2) выяснения, как организмы реагируют на свет в более естественных условиях;
- 3) руководства ими в определении более сложных, аналитических спектров действия.

Опубликовано четырнадцать аналитических спектров действия для разных циркадных, нейроэндокринных и нейроповеденческих реакций грызунов, обезьян и человека. Максимальное значение длины волны данных спектров находится в интервале 459–483 нм, что соответствует голубому цвету. Однако не все аналитические спектры действия определяют λ_{max} в голубой части спектра: исследования, проводимые на диких мышах и хомяках, указывают на нахождение λ_{max} в интервале 500–511 нм.

Таким образом, в настоящее время известны три фоторецеп-

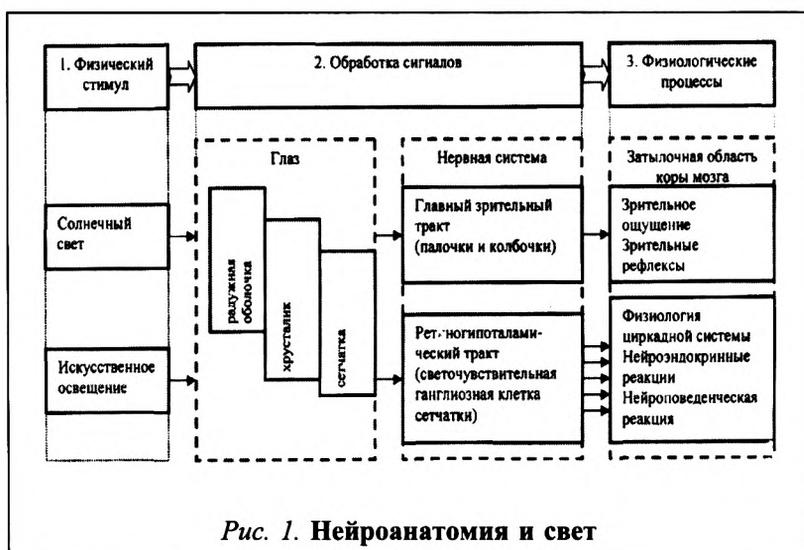


Рис. 1. Нейроанатомия и свет



торные системы, находящиеся в зрительном анализаторе человека: две, ответственные за зрительное восприятие изображений – палочки и колбочки, и третья – меланопсинсодержащие клетки сетчатки, регулирующие 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, шиш ковидная железа производит гормон мелатонин, который управляет усталостью человека и потребностью в 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.

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. 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. Наряду со всевозможными фототоксическими эффектами ночное световое освещение, возможно, канцерогенно.

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. Установлено, что *большинство несчастных случаев, вызванных человеческой ошибкой вследствие нарушения циркадных ритмов, происходит между тремя и пятью часами утра.* Такими примерами служат катастрофа в Чернобыле, катастрофа танкера Exxon Valdez в штате Аляска и утечка токсичного газа в Бхопале (Индия). 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. 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 для 12-летнего возраста. *Можно улучшить 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, рабо-

чее освещение вечером должно быть слабым, желтого или янтарного спектра (можно использовать очки, защищающие от синего излучения), пользование затемняющими 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.

В светотехнике считается более или менее доказанным, что законы *Abney* выполняются, то есть воздействие стимула пропорционально его интенсивности, а воздействие стимулов разных длин волн складывается. Если нужно сравнить эффективность двух источников света, то можно рассчитать световой поток ламп, измерив спектральные распределения энергии излучения, умножить их значения для каждой длины волны на значения кривой чувствительности глаза и просуммировать взвешенную энергетическую величину по видимому спектру:

$$\Phi = \sum_{\lambda=380\text{nm}}^{780\text{nm}} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda,$$

где Φ – световой поток,
 $\Phi_e(\lambda)$ – спектральное распределение энергетической величины,

$V(\lambda)$ – спектральная световая эффективность.

Даже для зрительной функции это верно только в ограниченном диапазоне явлений:

- метод мельканий в фотометрии;
- минимальный порог различения;
- острота зрения;



- критическая частота слияния мельканий;

- минимизация движения;

- время реакции.

Подобно тому, как восприятие яркости человеческим глазом не является аддитивным, так и для механизмов подавления мелатонина не выполняются законы *Abney*. Поэтому некоторые авторы считают преждевременным определять циркадный спектр действия и использовать его аналогично тому, как используют в фотометрии функцию $V(\lambda)$ (хотя существуют попытки переводить световые величины в циркадные и наоборот).

Несмотря на то что факт воздействия коротковолнового света на нейроповеденческие функции человека является доказанным, светотехническое сообщество считает преждевременным давать «свободу» светотехникам и стандартизаторам в нормировании освещения, так как необходимо время для тщательного изучения таких воздействий. Появились опубликованные результаты о том, что функция повреждающего действия синего света имеет отношение к световым экспозициям, применяемым, в частности, для стимулирования сенсорной системы на основе меланопсинсодержащих ГКС. Эта функция связана с фотохимическим повреждением сетчатки при экспонировании излучением, главным образом, в диапазоне длин волн 400–500 нм с максимумом в интервале 435–440 нм с коротковолновой и длинноволновой ветвями, быстро спадающими в обе стороны от него.

Тем не менее на специализированных сайтах можно найти информацию рекламного характера о приборе, воздействующем на организм человека посредством

узкополостного излучения (см. рис. 2). Действие прибора, который настроен на коротковолновую полосу пропускания 460–470 нм с точностью в несколько нанометров, основано на подавлении выработки гормона мелатонина, что делает его чрезвычайно активным при переключении циркадных ритмов. Прибор представляет собой многофункциональные очки, снабженные специальной программой *MindSpa*, в которую встроено 12 функций: обучение, память, внимание, подъем настроения и др. Кроме того, находящийся в комплекте с прибором компакт-диск *AudioStrobe* содержит управляющий код, в результате чего к звуку добавляется новое эмоциональное измерение. Данный прибор, рекламируемый как «устройство для улучшения памяти и внимания, глубокой релаксации и снятия стресса», разработан американскими специалистами в области нейролингвистического программирования.

Монохроматический коротковолновой свет эффективнее вызывает фазовый сдвиг циркадной системы, подавление секреции мелатонина, повышение субъективных и объективных ощущений состояния бодрости, повышение частоты сердечных сокращений, температуры тела и стимулирование экспрессии гена биологических часов *Per2* у человека, чем свет с большей длиной волны при равной плотности фотонов.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Проектирование освещения помещений вновь строящихся и



Рис. 2. «Многофункциональные очки» *CalmBlue*

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, 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, а также с рекомендациями норм по использованию ламп с высокой цветовой температурой (до 6000 К), то есть 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. Опубликованы международные нормативные документы, касающиеся



фотобиологической безопасности. 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.

ВЫВОДЫ

В настоящее время известны три фоторецепторные системы в зрительном анализаторе человека:

две, отвечающие за восприятие и формирование изображения, – палочки и колбочки, и третья, открытая учеными-фотобиологами сравнительно недавно, – меланопсинсодержащие клетки сетчатки. Последняя оказывает воздействие на нейроповеденческие функции организма, в частности, участвует в регулировании циркадных ритмов путем подавления «гормона сна» мелатонина. Нарушение циркадных ритмов – световое стимулирование активности, например, при работе в ночную смену, может привести к негативным последствиям для здоровья.

Установлено, что наибольшую чувствительность меланопсинсодержащие клетки имеют в коротковолновой (голубой) области спектра, что можно использовать для повышения работоспо-

собности персонала путем воздействия на него источниками света с соответствующим спектральным распределением, стимулируя «всплески бодрости». Однако последствия длительных экспозиций сетчатки излучением такого спектра требуют дальнейшего исследования.

Существующая нормативная база регламентирует в основном яркостные характеристики освещения, касаясь колориметрических составляющих лишь в части визуального комфорта восприятия образцов при производстве продукции. Возможно, со временем, учитывая результаты проведенных исследований нейроповеденческих реакций организма на световые стимулы, действующие стандарты будут пересматриваться. ☒

парад лучших

Впервые первые

Для повышения заинтересованности работодателей в создании здоровых и безопасных условий труда начиная с 2008 года Минский областной исполнительный комитет проводит смотр-конкурс на лучшую организацию работы по охране труда.

За право участвовать в конкурсе боролись 477 организаций различных форм собственности. Основными критериями оценки для определения лучших стали результаты работы по улучшению условий труда, санитарно-бытового обеспечения и лечебно-профилактического обслуживания работающих, эффективность предупреждения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. Особое внимание уделялось внедрению на предприятиях систем управления охраной труда в соответствии с государственными стандартами.

Победителями признаны ГУПП «ЖКХ “Комплекс”», Минская центральная районная больница, ДУП «Автобусный парк № 4» г. Молодечно, ЗАО «Молодечномебель», ОАО «Слущкий агросервис», КУП «Минскоблдорстрой – ДРСУ № 169», Молодеченские электрические сети.



Представителей передовых производственных коллективов тепло поздравили заместитель председателя Миноблсполкома А.В. Ермак, председатель Минского областного объединения организаций профсоюзов К.К. Хвенько, заместитель председателя комитета по труду, занятости и социальной защите Е.В. Кузьмина. ☒

Собственная информация