

## **Нормативно-методическое обеспечение освещения. Перспективы развития**

*(по материалам доклада Е.Н. Савковой, к.т.н., доцента кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ)*

Инновации в перспективных областях, связанных со зрительным восприятием световой среды — светотехнике, фотометрии, колориметрии, фотобиологии, эргономике и медицине, а также повышение профессиональной ответственности при выполнении некоторых видов работ, обуславливают более широкое понимание задач освещения. Создание осветительных систем, адаптированных к трудовой деятельности, отдыху и проживанию людей, становится междисциплинарной областью, предполагающей совместное сотрудничество производственных предприятий и научных измерительных лабораторий.

При этом важная роль отводится техническому нормированию и стандартизации, так как совершаемые научные открытия часто приводят к изменениям фотометрических понятий и, следовательно, пересмотру действующих стандартов. В настоящее время разработкой руководящих нормативных документов в данной области заняты Международная комиссия по освещению (СIE), Международная организация по стандартизации (ISO), Международная электротехническая комиссия (IEC), на региональном уровне — Европейский комитет по стандартизации (CEN).

Всего насчитывается порядка двух тысяч разработанных в разное время действующих нормативных документов (включая национальный уровень различных государств). Данные документы регламентируют требования к характеристикам освещения, его проектированию, светотехническим измерениям и расчетам.

### **Краткий анализ действующих нормативных документов**

Наблюдаются расхождения в международных и европейских нормах освещения с белорусскими и российскими нормами. Так, например, СНиП 23-05-95 в осветительных установках промышленных предприятий нормируется показатель ослепленности  $P$ , равный отношению пороговых разностей яркости при наличии и отсутствии слепящих источников в поле зрения. Для общественных зданий, вместо коэффициента ослепленности, нормируется показатель дискомфорта  $M$ . Значение  $M$  зависит от характера выполняемой работы и может принимать значения от 15 до 90.

В новых европейских нормах освещенности, в частности в EN 12464-1, нормируется обобщенный показатель дискомфорта UGR. Значения UGR заключены в диапазоне от 14 до 27, что значительно меньше значений аналогичного показателя в российских нормах. В ТКП 45-2.04-153-2009 показатель ослепленности лежит в пределах от 20 до 60. Можно сделать вывод, о том, что в эргономических аспектах белорусские нормы более строгие, чем российские, однако уступают европейским.

Одним из важнейших параметров нормирования является освещенность. В европейских и международных нормах данный параметр лежит в пределах от 100 до 1000 лк (например, офисы общего назначения с использованием компьютеров- 500 лк, офисы с чертежными работами-1000 лк, кладовые- 100 лк). В СНиП 23-05-95 все показатели в 2 раза меньше — лежат в пределах от 50 лк до 500 лк, что может способствовать повышению травматизма и снижению работоспособности людей. В ТКП 45-2.04-153-2009 основные показатели варьируются от 50 лк до 500 лк, но при особо ответственных условиях, например, при производстве особо точных деталей комбинированная освещенность может достигать 2000 лк.

Важными нормируемыми параметрами являются индекс цветопередачи и коэффициент пульсации света (источника света). Индекс цветопередачи ( $R_a$ )— это отношение передачи цвета предметов при освещении их данным источником света. Для ламп накаливания почти во всех странах индекс цветопередачи принят равным 100. Принята следующая система оценки качества цветопередачи:

- $R_a = 90$  – отличное качество;
- $90 > R_a > 80$  – очень хорошее;
- $80 > R_a > 70$  – хорошее;
- $70 > R_a > 60$  – удовлетворительное;
- $60 > R_a > 40$  – приемлемое;
- $R_a < 40$  – плохая.

В этом случае во всех странах нормы освещения устанавливают следующее: для предприятий полиграфической, текстильной, лакокрасочной отраслей промышленности, а также для хирургических отделений больниц общий индекс цветопередачи должен быть не ниже 90.

В части требований к естественному освещению СНиП 23-05 и ТКП 45-2.04-153 являются идентичными. В части совмещенного освещения помещений производственных зданий ТКП 45-2.04-153 в пункте 6.1 дополнен: «В учебных и учебно-производственных помещениях школ, средних специальных и высших учебных заведениях следует предусматривать совмещенное освещение при глубине их более 6 м». Относительно искусственного освещения ТКП 45-2.04-153 расширяет требования к освещенности в помещениях общественных зданий в части управления режимами в зависимости от присутствия людей, соотношений яркости в зависимости от функционального назначения помещения. Для аварийного освещения в ТКП 45-2.04-153 предусмотрены дополнительные пункты, касающиеся мер безопасности с указанием прогнозируемого числа людей, которые могут находиться в нормируемом помещении.

Коэффициент пульсации — количество раз изменения светового потока (пульсации или мерцания) в секунду. У газоразрядных источников света таких как люминесцентные, металлогалогенные, натриевые лампы – величина светового потока изменяется с удвоенной частотой тока сети. Так при частоте переменного тока в электрических сетях 50 Гц световой поток ламп изменяется («пульсирует») 100 или 120 раз в секунду – все газоразрядные лампы как бы

мерцают с такой частотой. Глазу эти мерцания не заметны, но они воспринимаются организмом и на подсознательном уровне могут вызывать повышенную утомляемость, головную боль, возможно стрессы.

Кроме этого, при освещении пульсирующим светом вращающихся или вибрирующих предметов возникает так называемый «стробоскопический эффект», когда при совпадении частоты вращения или вибрации с частотой пульсаций света предметы кажутся неподвижными, а при неполном совпадении – вращающимися с очень малыми скоростями. Это вызывает у людей ошибочные реакции и является одной из серьезных причин травматизма на производстве. Глубина пульсаций измеряется коэффициентом пульсации освещенности, и в белорусских нормах не должна превышать 20% на рабочих местах, а для некоторых видов производства – 15%. Эти значения одинаковы и для российских норм. В европейских нормах EN 12464-1 нет количественных показателей пульсации освещенности, хотя этому явлению посвящен специальный раздел. Вместо значений коэффициента пульсации в этом разделе просто сказано, что в помещениях с длительным пребыванием людей пульсации освещенности и возникновение стробоскопического эффекта не допускаются.

### **Стандартизация в области управления естественным освещением**

В настоящее время особенно актуальной является проблема инсоляции зданий, что связано с изменениями строительных концепций, ориентацией на создание ширококорпусных домов, увеличением плотности и этажности застройки [1]. Так как основная территория Республики Беларусь располагается на 52-56 параллелях — вблизи зоны ультрафиолетового дефицита ( $57,5^\circ$  северной широты и севернее), следует учитывать данное обстоятельство при оптимизации выбора светопрозрачных ограждений, их оптическим свойствам - прозрачности, поглощению, отражению и преломлению излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Оптическое излучение ультрафиолетового диапазона как многофункциональный биологический фактор оказывает бактерицидное, эритемное, антирахитное и витальное (тонизирующее) действие.

В зависимости от функционального назначения помещений и видов заполняемых световых проемов могут быть использованы стекла, характеристики которых регламентированы ГОСТ 111 [2], ГОСТ 5533 [3], ГОСТ 7481 [4] ГОСТ 9272 [5], СТБ 51.2.06 [6], СТБ EN 572-5 [7]. Однако в настоящее время проблема повышения инсоляции помещений находится в стадии развития, так как в прозрачных ограждениях до конца не учитываются факторы изменчивости перераспределения и проникновения каждой из трех составляющих оптического излучения – инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой. Данная проблема может быть решена путем наблюдения и зонирования территории республики по каждой из составляющих с применением в расчетах модели стандартного неба CIE (ISO 15469), которой должны быть учтены поправки на географическое положение. Кроме того, в

осветительных системах активно используются направляющие, перераспределяющие и маскирующие технические средства: световоды, солнцезащитные устройства, жалюзи и т.д., которые постоянно совершенствуются и не всегда являются стандартизованными.

## **Нормирование наружного освещения селитебных территорий и рабочих зон**

Основано на том, что освещение должно обеспечивать безопасность и защиту здоровья людей за счет создания благоприятной световой среды в темное время суток, а также освещать фасады зданий и сооружений, произведения монументального искусства и элементы городского ландшафта для повышения их художественной выразительности, отвечая требованиям экологии зрительного восприятия и социально-экономической эффективности. При расчетах данного вида освещения используются стандартизованные модели дневного и ночного зрения согласно ISO 11664, CIE 19.22-1981, CIE 86-1990.

Однако результаты последних проведенных исследований показали неточность расчетов спектральной чувствительности зрительной работоспособности в условиях периферического сумеречного зрения по функции относительной спектральной эффективности для дневного зрения ( $V(\lambda)$ ) [8]. На текущий момент не существует официально рекомендованной МКО системы световых измерений в условиях сумеречного зрения (это особенно касается источников света со значительной долей излучения в синей области спектра, например, современных разрядных ламп и светодиодов) [9]. Предложенные две модели сумеречного зрения в работах [10, 11] различаются по точке перехода между сумеречной и дневной областями. Она соответствует значениям яркости  $0,6 \text{ кд/м}^2$  и  $10 \text{ кд/м}^2$ , что возможно обусловлено различием зрительных параметров, использованных в экспериментах по созданию моделей. Эксперименты показали, что для расчетов «сумеречной» яркости предлагать какую-либо из них в настоящее время является преждевременным.

При Европейском комитете по стандартизации (CEN) в 1989 году с целью разработки единых норм в области прикладной светотехники был создан Технический комитет ТК 169 «Свет и освещение», в который сейчас входят более 20 стран. К середине 2003 года вышли в свет нормы в области светотехники, единодушно признанные во всех двадцати странах-членах CEN. В настоящее время в нескольких рабочих группах ТК 169 идет работа над следующими проектами:

- prEN 13032 - Измерение и докумен тальное представление параметров ламп и светильников;
- prCR 13201. Уличное освещение.

Перспективами развития наружного освещения являются следующие направления:

- 1) создание независимых система наружного освещения, предназначенных для автономной подсветки зданий, сооружений, рекламных щитов, освещения улиц и загородных домов;
- 2) расширение областей рабочих температур функционирования источников света;
- 3) повышение энергосбережение и энергоэффективности;
- 4) разработка перспективных источников света и инновационных технологий;
- 5) повышение сроков службы световых приборов.

### **Совершенствование требований к внутреннему освещению**

Как показывает опыт сотрудничества с отечественными светотехническими компаниями, при выполнении заказов на разработку систем освещения в настоящее время учитываются лишь энергосберегающие и фотометрические аспекты. В документах, регламентирующих требования к освещению (ТКП 45-2.04-153, EN 12665, DIN 5035, ГОСТ 12.1.046, ГОСТ 21.608, ГОСТ 7721, ГОСТ 8045, ГОСТ 8607, ГОСТ ИСО 8995, ГОСТ 24940, СТБ 306, СТБ 1779, СТБ 1782, СТБ 1944, СТБ ИЕС 60432, СТБ МЭК 60598, МУ РБ 11.11.12 и др.), нормируются показатели, учитывающие зрительное восприятие объектов при выполнении персоналом заданий в рабочих зонах, требований энергоэффективности и эргономики. Эргономические и фотобиологические аспекты освещения, учитывающие его спектральный состав, регламентированы также в CIE S 009/D:2002, ISO 8995, CEI/IEC 62471/CIE S009/E:2006; CIE 134-1999. Факторы спектрального восприятия представлены индексом цветопередачи и красным отношением, что не в полной мере отвечает современным тенденциям в области светотехники.

Научные открытия в фотобиологии и медицине, касающиеся влияния света на незрительные (нейроповеденческие) функции организма человека – смену состояний бодрости и утомляемости в течение суток, дают основание говорить не просто о комбинированном управлении освещением и светозащитой, а о разработке «светотехнических сценариев», уже практикуемых ведущими мировыми проектировщиками [12, 13]. Колориметрические характеристики предлагается учитывать посредством расчета координат цвета из графика цветностей. Так, например, согласно рекомендациям МКО в части преобладания холодной составляющей света днем и красно-янтарной вечером, их следует варьировать в течение дня. Этого можно добиться путем применения светодиодных панелей красного, синего и зеленого цветов [14]. Публикация CIE 184:2009 содержит ужесточенные требования к освещению, которые найдут отражение в нормативных документах национального уровня стандартизации различных стран.

### **Уточнение правил выполнения светотехнических расчетов**

Проектирование освещения осуществляют согласно СIE 13.3 – 1995, EN 13032, ГОСТ 24940 и другим нормативным документам, регламентирующим требования к установлению контрольных точек пространстве, шкалам используемых светотехнических показателей и их нормам. В основу светотехнических расчетов положены известные физические законы, принципы и математические модели, которые периодически пересматриваются. Учитывая фотобиологические особенности зрительного анализатора — конечного приемочного звена оптико-электронных преобразований, можно представить освещаемую сцену в виде динамичной системы взаимодействующих факторов (первичных и вторичных излучателей, вспомогательных технических устройств и находящихся в перспективе объектов).

Каждый из элементов сцены обладает набором фотометрических и колориметрических характеристик, которые необходимо учитывать в расчетах в виде поправок и поправочных коэффициентов в соответствии с имеющимися знаниями об их влиянии. Поэтому изменения в применяемых стандартизованных моделях, в свою очередь, вносят изменения в соответствующие нормативные документы.

Современный уровень развития технических и программных средств позволяет моделировать световую среду помещений на основе применения аппарата дискретной геометрии, математической статистики и теории вероятностей. Учитывая, что компьютерное проектирование светового распределения осуществляют с применением условных шкал, необходимо решить проблему метрологической прослеживаемости результатов, чтобы исключить возможные разногласия между поставщиком и потребителем осветительных систем. Этого можно достичь посредством установления реперных точек, в качестве которых могут быть использованы источники опорного излучения, цветовые пробы и виртуальные меры [15].

## Библиография

1. Доклад «Проблемы инсоляции зданий и световодное освещение», сделанного ведущим научным сотрудником ГП НИПТИС, кандидатом физико-математических наук А. И. Кириленко 25 марта на 2-й научно-практической конференции «Энергоэффективные системы освещения зданий». Режим доступа <http://www.nestor.minsk.by/sn/1999/15/sn91508.htm>.
2. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия.
3. ГОСТ 5533-86. Стекло листовое узорчатое. Технические условия.
4. ГОСТ 7481-78. Стекло армированное листовое. Технические условия.
5. ГОСТ 9272-81. Блоки стеклянные пустотелые. Технические условия.
6. СТБ 51.2.06-2005. Оборудование и технические средства для обеспечения банковской деятельности. Стекло высокопрочное. Общие технические условия.
7. СТБ EN 572-6-2008. Стекло в строительстве. Основные изделия из натрий-кальций-силикатного стекла. Часть 5. Узорчатое стекло.

8. Lewin J. Visibility factors in outdoor lighting design. *Light & Engineering*, 2001, 9 (3): 30-44.
9. Экспериментальное сопоставление двух моделей функции  $V(\lambda)$  для сумеречного зрения. М.Виикари, Л.Халонен, М.Элохолма, Венченг Чен, Дахуа Чен. Технологический университет Хельсинки, Финляндия. Фуханьский университет, КНР. *Светотехника*, 2007, №2. с. 17-20
10. Commission Internationale de l'Éclairage. Testing of supplementary systems of photometry. CIE Central Bureau CIE 141, 2001.
11. Eloholma M., Viikari M., Halonen L., Walkey H., Goodman T., Alferding A., Bodrogi P., V'rady G. Mesopic models- from brightness matching to visual performance in night-time driving: a review. *Lighting Research Technology*. 2005, 37(2):155-175.
12. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека. Г.К. Брейнард, И. Провенсио. *Светотехника*, 2008, №1. с. 6-12.
13. Воздействие изменяющегося света на здоровье людей во время работы. П.Дехофф. *Светотехника*, 2006, №3. с.54-56.
14. Зуйков И.Е., Савкова Е.Н. Нормативно-методическое обеспечение адаптивных осветительных систем. Материалы 3-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение–2010», Минск, БНТУ, 2010. С.186.
15. Савкова Е.Н., Колориметрические шкалы встроенных систем и их неопределенности. Невизначеність вимірювань: фізико-хімічні вимірювання. Украина, Харьков. С. 167-169.