**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Москва 2019

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 3
3.1 Термины и определения 3
3.2 Сокращения 5
4 Характеристики по спектру и динамическому управлению по освещенности 6
4.1 Управление световым потоком светильника путем диммирования ...6
4.2 Технология получения белого цвета с использованием светодиодных источников света 13
4.3 Спектральные характеристики светодиодных светильников с управляемой цветностью. 21
4.4 Технические характеристики светодиодных светильников с управляемой цветностью 27
5 Методы управления осветительной установкой 32
5.1 Общие сведения 32
5.2 Варианты организации управления 34
5.3 Устройства управления освещением 36
6 Особенности проектирования динамического освещения по освещенности 40
6.1 Общие сведения 40
6.2 Применение датчиков в системах освещения 42
6.3 Области применения динамических систем 44
6.4 Расчет сцен освещения с диммированием 45
7 Особенности проектирования динамического освещения по спектру 59
7.1 Общие сведения 59
7.2 Управление оттенками белого света..... 59

7.3 Световая среда, ориентированная на человека…… 61
8 Способы учета спектрального состава искусственного освещения....71
8.1 Концепция HCL 71
8.2 Количественная оценка биологического воздействия света по циркадной эффективности.....74
8.3 Критерии невизуального воздействия света при проектировании искусственного освещения. WELL стандарт.....79
9 Оценка эффективности динамического освещения 80
9.1 Функциональное назначение осветительных установок с динамически изменяемыми характеристиками 80
9.2 Способы оценки эффективности применения динамического освещения для обеспечения требуемых визуальных параметров освещенности 82
9.3 Способы оценки эффективности применения динамически изменяемого света в различных областях применения искусственного освещения.....87
Библиография.....94

Введение

Настоящее методическое руководство разработано в развитие положений СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение» в целях повышения комфортности и энергетической эффективности освещения за счет реализации динамического освещения.

Настоящее методическое руководство ориентирует проектировщиков на использование современных систем динамического управления энергоэффективными осветительными приборами и соответствующих систем искусственного освещения, разъясняет методологические основы и детализирует указания по выбору и учету аспектов динамического освещения при проектировании светотехнической части проектов искусственного освещения общественных зданий, позволяющих реализовывать требования СП 52.13330.

Основное внимание уделено взаимосвязи основных параметров динамического освещения: диммирования по световому потоку и управления коррелированной цветовой температурой с показателями качества освещения и оптимизацией невизуального биологического воздействия света на человека. В настоящем методическом руководстве приведены способы оценки относительной эффективности динамических режимов освещения на основе отечественной и зарубежной практики применения динамического освещения.

Методическое руководство предназначено для электроотделов организаций, выполняющих проекты электроосвещения, инженеров-светотехников, архитекторов и светодизайнеров. Оно предполагает применение общедоступных программных средств, наиболее широко распространенных в практике проектирования искусственного освещения.

Настоящее методическое руководство разработано авторским коллективом: федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (канд. техн. наук *И.А. Шмаров*); Общество с ограниченной ответственностью «Международная группа компаний «Световые Технологии» (канд. техн. наук *А.В. Карев*).

1 Область применения

Настоящее методическое руководство распространяется на проектирование искусственного динамического освещения общественных зданий различного назначения.

Руководство ориентировано для применения при проектировании осветительных установок динамического освещения на базе светодиодных светильников.

Безопасность светодиодного освещения для зрения человека обоснована научной комиссией SCHEER Евросоюза [1] и отечественными исследованиями [2]–[4], а энергоэффективность светодиодных осветительных установок в 1,5–3 раза выше, чем у аналогичных им с разрядными источниками света.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом руководстве использованы следующие нормативные ссылки:

ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Норма качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

ГОСТ 32498–2013 Здания и сооружения. Методы определения показателей энергетической эффективности искусственного освещения

ГОСТ 33393–2015 Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещенности

ГОСТ Р 54350–2015 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытания

ГОСТ Р 55706–2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы

ГОСТ Р 55710–2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений

СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение» (с изменением № 1)

СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 367.1325800.2017 Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения

СанПиН 2.4.2.2821–10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях

Примечание – При пользовании настоящим методическим руководством целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего методического руководства в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем методическом руководстве применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **диммер:** Электронное устройство, предназначенное для изменения светового потока (яркости) осветительного прибора.

3.1.2 **диммирование:** Изменение светового потока осветительного прибора путем изменения выходного тока устройства управления в зависимости от сигнала управляющего устройства (датчик, контроллер и т. д.).

3.1.3 **индекс помещения:** Величина, определяемая геометрическими характеристиками помещения и применяемая для вычисления коэффициента использования светильников.

3.1.4 **концепция HCL:** Концепция освещения, которая учитывает не только визуальные потребности человека в освещении, но и невизуальное воздействие света на состояние и здоровье человека.

3.1.5 **невизуальное воздействие света:** Влияние света на человека, заключающееся в воздействии на физиологические, биологические и поведенческие функции организма и, в целом, на самочувствие.

3.1.6 **коэффициент эксплуатации:** Коэффициент, равный отношению освещенности или яркости в заданной точке, создаваемой осветительной установкой в конце установленного срока эксплуатации, к освещенности или яркости в той же точке в начале эксплуатации.

3.1.7 **протокол DSI:** Протокол, позволяющий: объединять осветительные устройства в группы и создавать простые сценарии; использовать провода небольшого сечения неограниченной длины; снижать яркость до полного выключения, что позволяет исключить использование выключателей; управлять освещением через компьютер.

3.1.8 **протокол Modbus:** Открытый коммуникационный протокол для организации связи между электронными устройствами через линии связи RS-485, RS-422, RS-232.

3.1.9 **протокол 0–10 В:** Протокол системы управления различным специальным оборудованием. Изменение регулируемого параметра происходит пропорционально напряжению управляющего сигнала: 0 В – минимум, 10 В – максимум.

Примечание – Стандарт 0–10 V регламентируется [5].

3.1.10 **светлота:** Уровень зрительного ощущения, производимого яркостью, в зависимости от условий наблюдения.

3.1.11 **стандарт BLE:** Модификация стандарта Bluetooth, отличающаяся сверхмалым пиковым энергопотреблением.

3.1.12 **стандарт Bluetooth:** Стандарт беспроводных сетей, используемых для обмена данными между устройствами. Имеет ограничение по дальности между устройствами.

3.1.13 **стандарт DALI:** Стандарт цифрового управления осветительными и иными приборами, основанный на шинной топологии.

3.1.14 **стандарт DMX:** Стандарт, описывающий цифровую передачу данных между различным оборудованием для нужд управления, основанный на шинной топологии [6].

3.1.15 **сухой контакт:** Контакт, у которого отсутствуют гальванические связи с цепями электропитания и заземления, то есть контакт гальванически развязан от управляющего сигнала.

3.1.16 **сценарий:** Алгоритм изменения параметров системы освещения в течение дня.

Примечание – Сценарии могут отличаться от месяца к месяцу, а также могут предполагать реакцию системы освещения на определенные события.

3.1.17 **устройство управления;** УУ: Устройство, включенное между источником сетевого напряжения и одним или несколькими светодиодными источниками света (модулями) и служащее для преобразования напряжения источника питания, управления током

источника света, корректировки коэффициента мощности, уменьшения помех и пульсаций светового потока.

3.1.18 **широтно-импульсная модуляция;** ШИМ: Процесс управления мощности методом пульсирующего включения и выключения прибора.

Примечание – Интерфейс, основанный на ШИМ, обозначают PMW.

3.1.19 **DALI DT8:** Версия протокола DALI, позволяющая управлять одновременно световым потоком и цветностью осветительного прибора.

Примечание – Описана в IEC 60929 [7].

3.1.20 **PLC:** Семейство технологий передачи пакетных данных по линии электропередачи.

3.1.21 **TW управление оттенками белого света;** УОБС: Технология изменения оттенков белого света ОП в диапазоне: теплый, нейтральный, холодный.

3.1.22 **BMS** (Building Management System) – компьютерная система управления зданием, которая контролирует механическое и электрическое оборудование здания, в т.ч. вентиляцию, освещение, системы электроснабжения, пожарные системы и системы безопасности.

3.2 Сокращения

В настоящем методическом руководстве применены следующие сокращения:

АСУО – автоматизированная система управления освещением;

АЧТ – абсолютно черное тело;

ДТЦ – диммирование к теплому цвету;

КЦТ – коррелированная цветовая температура;

МКО – международная комиссия по освещению;

ОП – осветительный прибор;

ОУ – осветительная установка;

СВЧ – сверхвысокие частоты;

СКУД – система контроля управления доступом;

УПЦ – управление полным цветом.

4 Характеристики по спектру и динамическому управлению по освещенности

4.1 Управление световым потоком светильника путем диммирования

4.1.1 Динамические изменения светового потока светодиодного светильника обеспечиваются изменением значения силы тока, вырабатываемого УУ и протекающего через светодиоды [8], [9]. Изменения светового потока происходят абсолютно синхронно с изменениями тока. Таким образом, светодиод транслирует в виде изменяющегося светового излучения любые изменения тока, заданные УУ. На этом принципе, например, основана высокоскоростная беспроводная коммуникационная технология передачи информации модулированным световым потоком светодиодных светильников [10].

Термин «диммирование», под которым ранее понимали плавное снижение светового потока («темнение света») искусственных источников, в современной светотехнике понимается как снижение светового потока, так и его увеличение в процессе управления интенсивностью свечения источников света.

Соответственно изменение освещенности внутри помещений или яркости поверхностей, важное при проектировании освещения, будет определяться световыми потоками управляемых (диммируемых) ОП.

4.1.2 Абсолютные изменения яркости и освещенности при диммировании и отклик глаза человека

При анализе аспектов диммирования светового потока следует учитывать то, что в качестве приемника света выступает глаз человека. При малой освещенности его чувствительность увеличивается, что приводит к возникновению ощущения завышенной освещенности или яркости объекта по сравнению с показаниями соответствующих приборов.

Количественно это выражается зависимостью на рисунке 4.1, приведенной в [11].

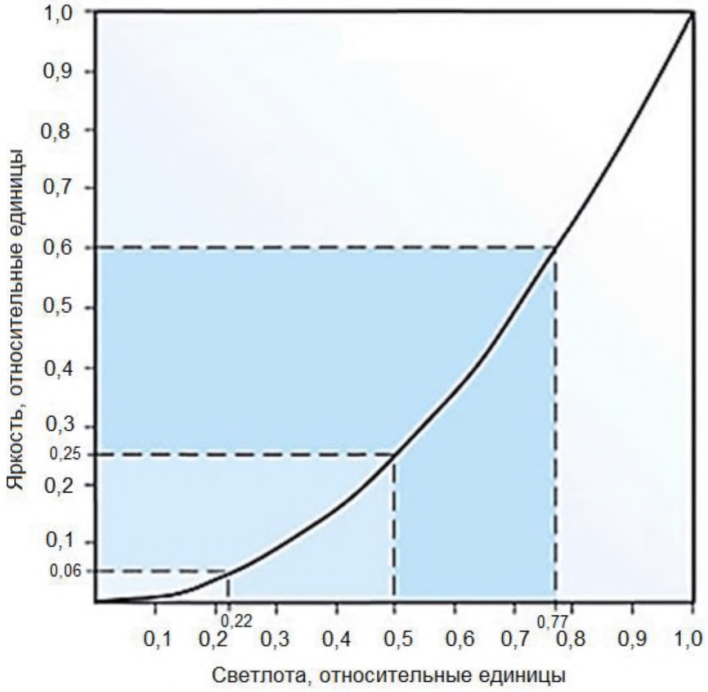
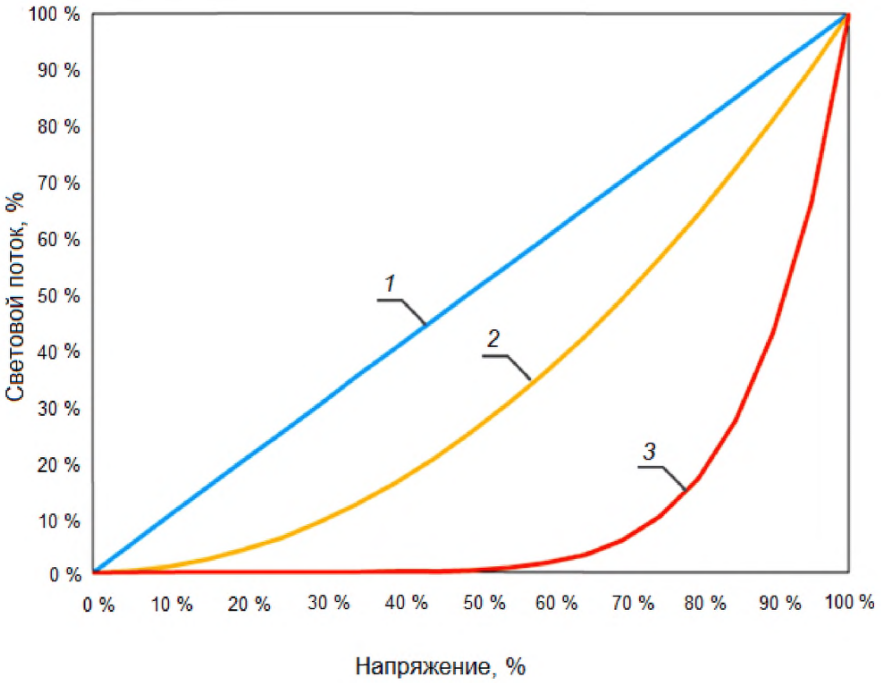


***Рисунок 4.1* – Зависимость воспринимаемой светлоты от абсолютных изменений яркости**

Зависимость обусловлена тем, что глаз более чувствителен к изменениям яркости при малых яркостях, чем к равным по значению

изменениям яркости при высоких яркостях. На практике это означает, что яркость объекта, сниженная до 10 % начального измеренного значения, будет восприниматься человеком, как яркость объекта, сниженная до 32 %.

Для обеспечения процесса диммирования по восприятию, приближенному к человеческим ощущениям, в электронных устройствах диммирования вместо линейной обычно используют логарифмическую шкалу (рисунок 4.2) [12].



1 – линейная зависимость; *2* – квадратичная зависимость; *3* – логарифмическая зависимость

***Рисунок 4.2* – Возможные зависимости изменения светового потока от значения управляющего сигнала при диммировании**

4.1.3 Методы управления работой диммируемых устройств управления для светодиодных светильников

Управляемое (УУ) светодиодного светильника должно обеспечивать изменение интенсивности свечения светодиодов в соответствии с управляющим сигналом и быть совместимым с одним из протоколов управления, а также должно быть оборудовано низковольтным входом управления и работать с одним из следующих протоколов: 0–10 В, DSI, DALI, DMX.

Протокол 0–10 В. Для диммирования по протоколу 0–10 В в качестве управляющего используется аналоговый сигнал низкого напряжения. Для управления используется один провод, по которому и передается сигнал управления 0–10 В (плюс нулевой провод).

В качестве устройства управления может быть диммер или схема в составе системы управления. Диммер работает как источник тока, что позволяет управлять несколькими УУ, включенными параллельно. Значение управляющего напряжения 10 В обеспечивает максимальную яркость светильника, которая снижается до нуля при уменьшении напряжения до 0 В. При этом изменение управляющего сигнала при одинаковом угле поворота диммера может различаться в начале и конце диапазона диммирования (рисунок 4.2).

Протокол DSI. Протокол определяется стандартом [13], который обеспечивает ряд возможностей, ранее недоступных при протоколе 0–10 В: объединение осветительных устройств в группы и создание простых сценариев; использование проводов небольшого сечения неограниченной длины; снижение яркости до полного выключения, что позволяет исключить использование выключателей; управление освещением через компьютер.

Стандарт DSI стал основным для создания современного цифрового протокола DALI.

Протокол DALI. Цифровой диммирующий интерфейс управления освещением – открытый протокол, определенный [12]. Обеспечивает упрощенное электрическое соединение до 64 драйверов на одну пару управляющих проводов. Каждый драйвер в системе имеет уникальный адрес и может управляться индивидуально. Протокол позволяет реализовать обратную связь и получать информацию на контроллер от драйвера, например для мониторинга мощности, отказа или при тестировании светильника.

При управлении по протоколу DALI нет риска потери качества управления при увеличении длины управляющей линии, что обеспечивает равномерность группового диммирования светильников.

Протокол DMX – DMX512 (Digital Multiplex). Стандарт, описывающий метод цифровой передачи данных между контроллерами и световым, а также дополнительным оборудованием; является средством управления интеллектуальными приборами с различных консолей через единый интерфейс, позволяя объединять различные устройства управления (пульты, консоли и т. д.) с оконечными устройствами (диммерами, прожекторами, стробоскопами, дымовыми машинами и т. д.) [14]. Устройства подключены последовательно по витой паре к контроллеру (консоли управления) генерирующей команды DMX. На одной паре может размещаться до 32 устройств, увеличение может быть обеспечено с помощью повторителей.

Стандарт DMX512 позволяет управлять по одной линии связи одновременно 512 каналами. При работе каждый светильник имеет определённое количество управляемых дистанционно параметров и занимает соответствующее количество каналов в пространстве DMX512.

RDM (Remote Device Management) – новая версия DMX, реализующая двунаправленную связь с драйвером светильника. Позволяет расширить функциональность системы, обеспечив гибкое конфигурирование, мониторинг состояния управляемых устройств и др.

4.1.4 Проблема ограничения пульсаций светового потока при диммировании

Наиболее распространенным методом диммирования светодиодных светильников является ШИМ. С помощью ШИМ циклически изменяют ток светодиодов от максимального до нулевого значения с определенной частотой и скважностью. Сигнал ШИМ генерируется УУ. Световой поток полностью повторяет циклические изменения тока и его пульсации могут создавать нежелательные и неприемлемые визуальные и невизуальные эффекты.

К визуальным эффектам относятся зрительное утомление, фликер, стробоскопический эффект.

Стробоскопический эффект отражает зрительное восприятие кажущегося изменения, прекращения вращательного движения или периодического колебания объекта, освещаемого светом, изменяющимся с близкой, совпадающей или кратной частотой. Данный эффект опасен при наличии открытых вращающихся и движущихся механизмов, поскольку может быть причиной травматизма.

Фликер отражает ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное источником света, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени. В отечественной практике используется для оценки качества электроэнергии по ГОСТ 32144. За рубежом термин «фликер» используется вместо терминов «коэффициент пульсации освещенности» или «коэффициент пульсации светового потока» [15]–[17].

Соблюдение норм коэффициента пульсации освещенности позволяет предотвратить отрицательное влияние фликера и стробоскопического эффекта на человека и снизить его зрительное и общее утомление.

Пульсация освещенности свыше 300 Гц не оказывает влияния на общую и зрительную работоспособность человека [18].

Коэффициент пульсации освещенности определяют по ГОСТ 33393 по формуле

$$K_{П}=\frac{E_{max}-E_{min}}{2E_{ср}}, \qquad (4.1)$$

где $E_{ср}=\frac{1}{T}\int_{0}^{1}E(t)\mathrm{d}t$ или $E_{ср} = S/T;$

E_{max}, E_{min} – максимальные и минимальные значения освещенности;

E – освещенность;

t – время;

S – площадь согласно рисунку 4.3;

T – период колебаний в соответствии с рисунком 4.3.

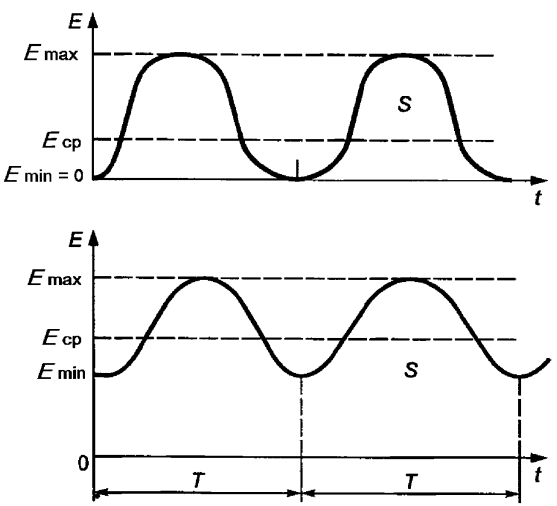


Рисунок 4.3 **– Определение коэффициента пульсации освещенности**

4.2 Технология получения белого цвета с использованием светодиодных источников света

4.2.1 Белый цвет светодиодного источника света (светодиода, светодиодной матрицы, кластера, светильника и др.) получается в результате смешения излучения нескольких цветных источников.

Наиболее распространенным способом генерации белого света является использование люминофоров вместе с синим светодиодом. Люминофорный материал, используемый в светодиодах, освещается синим светом и преобразует его в желтый свет, имеющий довольно широкое спектральное распределение мощности. При включении люминофора в корпус синего светодиода с максимальной длиной волны от 450 до 470 нм часть синего света будет преобразовываться в желтый свет люминофора. Оставшийся синий свет, смешанный с желтым, дает белый свет. На рисунке 4.4 показана схема частичного преобразования синего света в люминофоре.

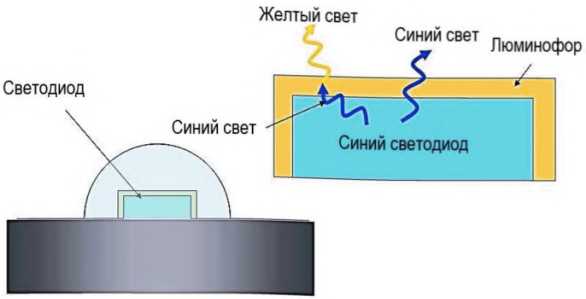
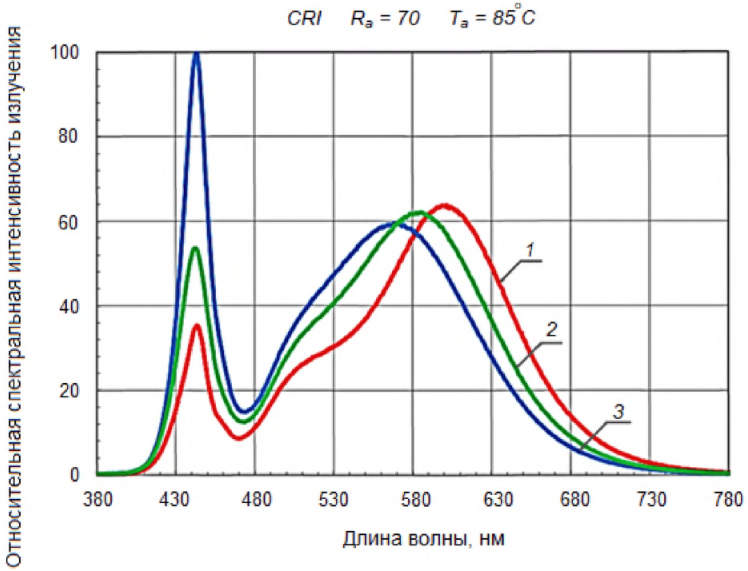


Рисунок 4.4 **– Принцип получения белого света в светодиоде с синим кристаллом и желтым люминофором**

На рисунке 4.5 приведены варианты спектрального распределения белого света при различных комбинациях синего излучения кристалла и излучения люминофорных слоев с разными параметрами.



1 – теплый белый свет; *2* – нейтральный белый свет; *3* – холодный белый свет

Рисунок 4.5 **– Примеры теплого, нейтрального и холодного спектра белого света**

При этом смешанное излучение имеет различные оттенки: теплый, нейтральный и холодный. В качестве примера приведены данные по светодиодам компании LG серии 3535 (рисунок 4.6) [19]. Светодиоды сортируются по цветовым характеристикам на базе ГОСТ Р 54350 в соответствии с рисунком 4.7.

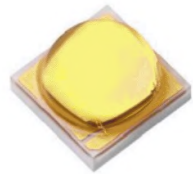


Рисунок 4.6 **– Внешний вид светодиода большой мощности серии 3535 Ceramic**

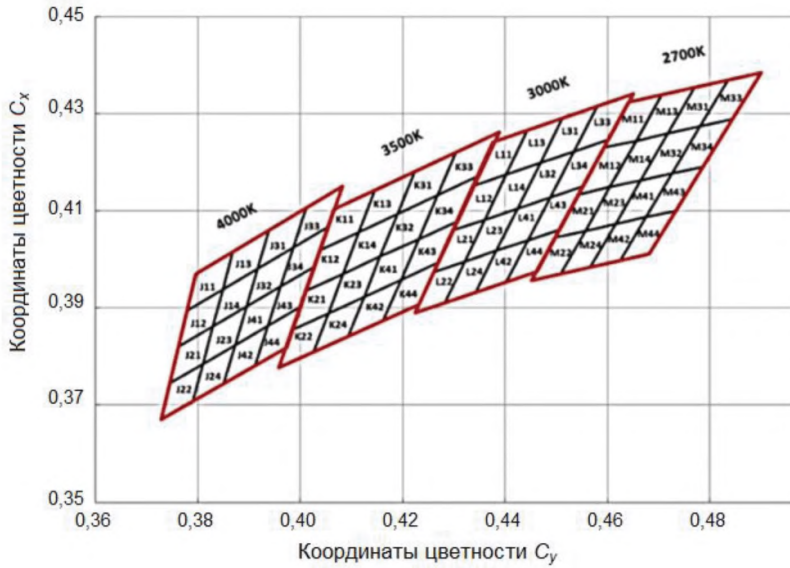
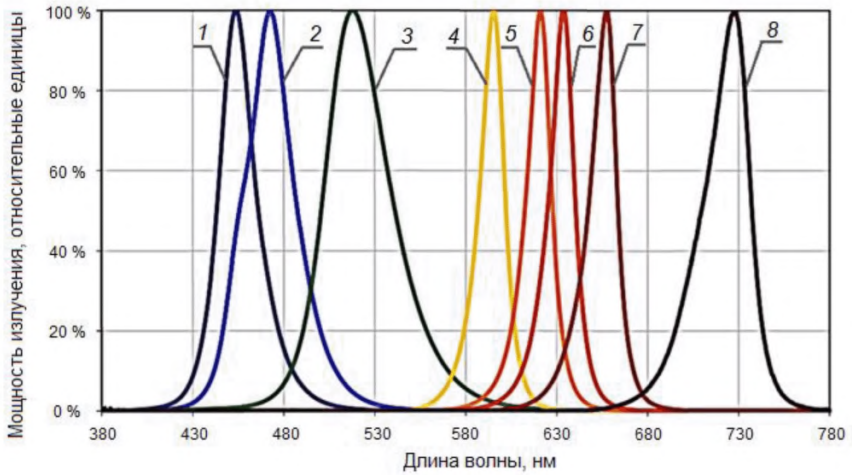


Рисунок 4.7 **– Области допустимых отклонений КЦТ в пределах диапазона 2700–4000 К**

Для диапазона 2700–4000 К для каждого четырехугольника производитель определяет 16 и более локальных областей цветности. Это позволяет упростить формирование заказов и обеспечивает уверенное достижение стабильных цветовых характеристик конечных изделий.

4.2.2 Следующая технология состоит в том, чтобы смешать свет от нескольких цветных светодиодов, спектральное распределение которых представлено на рисунке 4.8, и создать суммарное спектральное распределение мощности, которое выглядит белым. На практике часто ограничиваются тремя цветами: красный, синий, зеленый.



1 – темно-синий; *2* – синий; *3* – зеленый; *4* – желтый; *5* – красно-оранжевый; *6* – красный; *7* – темно-красный; *8* – бордовый

***Рисунок 4.8* – Спектральное распределение плотности излучения цветных светодиодов**

Аналогичным образом получается белый свет в так называемых «трехполосных» люминесцентных лампах, где используются три люминофора, каждый из которых излучает относительно узкий спектр синего, зеленого или красного света, преобразуя ультрафиолетовое излучение ртутного разряда в трубке лампы [20].

Излучающие светодиоды конструктивно располагаются рядом друг с другом, и при правильной балансировке интенсивности аддитивно смешанное излучение воспринимается белым.

Пример такого исполнения – RGB диод компании Cree (США) типа PLCC8 3 in 1 SMD LED CLQ6A-FKW [21], представленный на рисунке 4.9. Светодиод конструктивно выполнен в стандартном корпусе PLCC8, в котором реализована параллельная электрическая схема включения. Решение обеспечивает высокую яркость, широкий угол излучения и равномерное смешение трех цветов, представленных на рисунке 4.10 в пространстве.

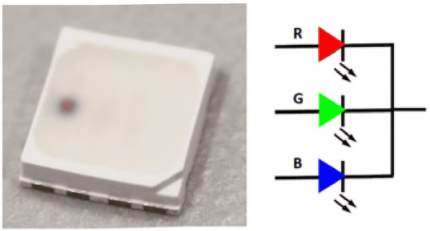


Рисунок 4.9 **– Внешний вид светодиода и схема соединения кристаллов разных цветов**

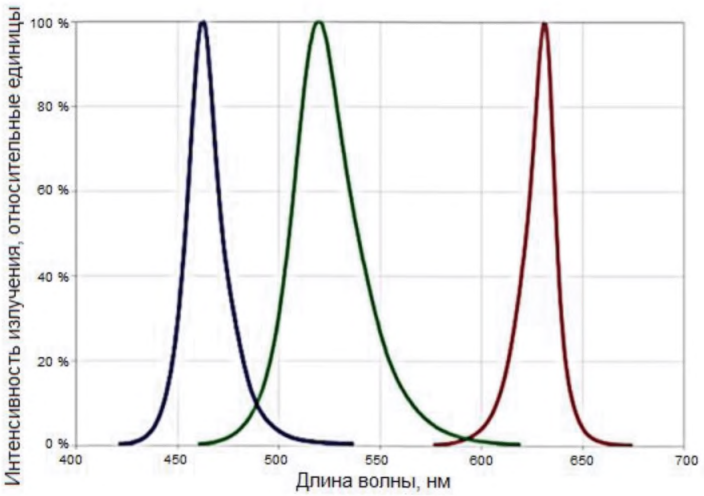


***Рисунок 4.10* – Спектры излучения светодиодных кристаллов, входящих в состав белого светодиода**

На рисунке 4.11 показано, что зависимости пространственного распределения излучения каждого из трех базовых цветов практически совпадают, что обеспечивает цветовую однородность светового потока. Такой светодиод может быть применен для архитектурной, декоративной подсветки и других областей применений.

4.2.3 Существуют гибридные конструкции светодиодов, в которых используются цветные монохромные светодиодные кристаллы и светодиоды белого света с люминофором. Такие решения обеспечивают чрезвычайно гибкое и тонкое управление цветом и его однородность в пучке. Одновременно при этом достигается высокая плотность расположения кристаллов на подложке и возможность применения

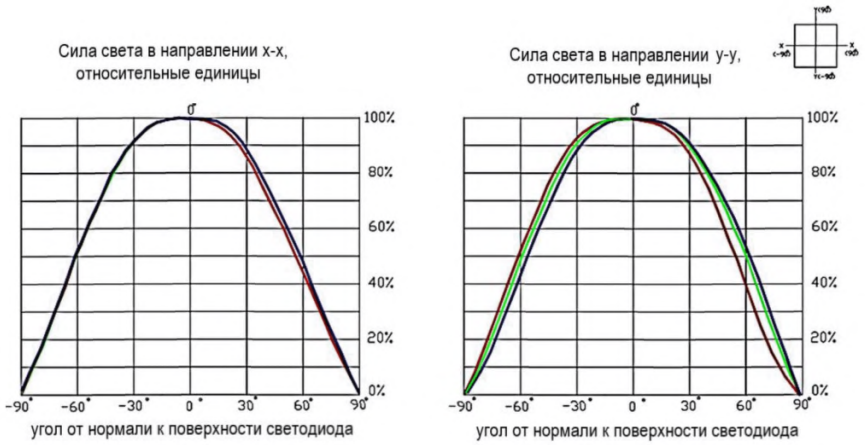
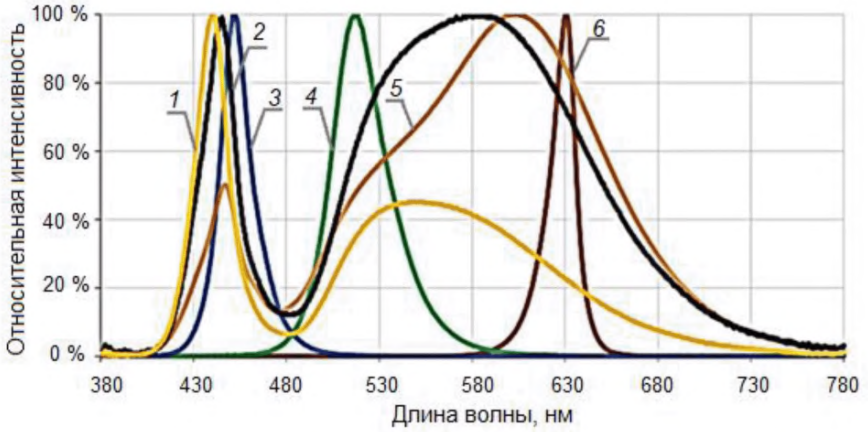


Рисунок 4.11 **– Пространственное светораспределение светодиодных кристаллов разных цветов в составе светодиода**

общей первичной оптики. Такие многоцветные светодиодные источники находят применение в ОУ с изменяемой цветностью, сценическом освещении, архитектурном, внутреннем освещении и других областях. В качестве примера на рисунках 4.12–4.14 и в таблице 4.1 приведены характеристики светодиода типа XM-L Color LEDs компании CREE (США) [22].



Рисунок 4.12 **– Внешний вид светодиода Cree XLamp XM-L Color**



1 – белый 6000 К; 2 – белый 4000 К; 3 – синий; 4 – зеленый; *5* – белый 3000К; *6* – красный

***Рисунок 4.13* – Варианты спектра излучения светодиода**

Таблица 4.1

Цвет		Доминирующий диапазон длин волн, КЦТ	
		Минимум	Максимум
Цвет + Холодный белый	Красный	620 нм	630 нм
	Зеленый	520 нм	535 нм
	Синий	450 нм	465 нм
	Холодный белый	5700 К	8000 К
Цвет + Нейтральный белый	Красный	620 нм	630 нм
	Зеленый	520 нм	535 нм
	Синий	450 нм	465 нм
	Нейтральный	3700 К	4300 К
Цвет + Теплый белый	Красный	620 нм	630 нм
	Зеленый	520 нм	535 нм
	Синий	450 нм	465 нм
	Теплый белый	2700 К	3700 К

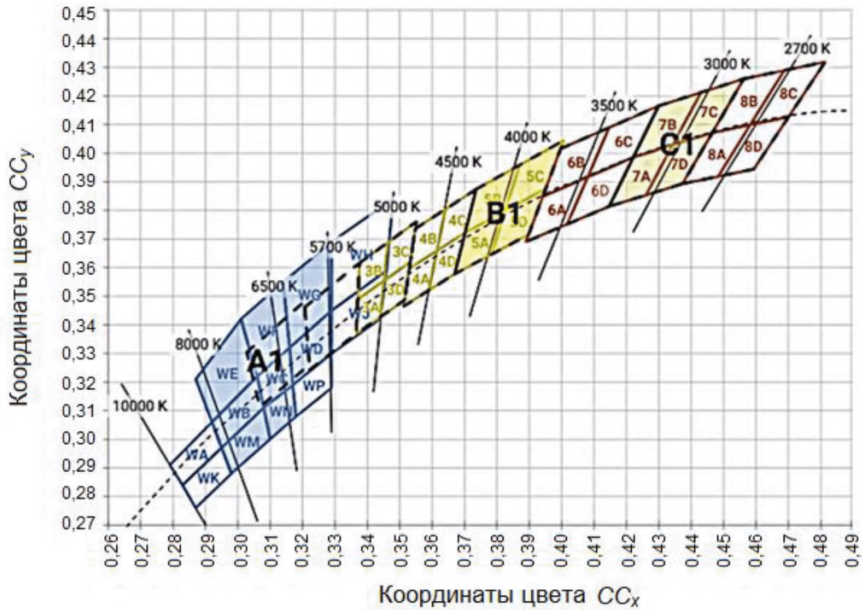


***Рисунок 4.14* – Области цветности**

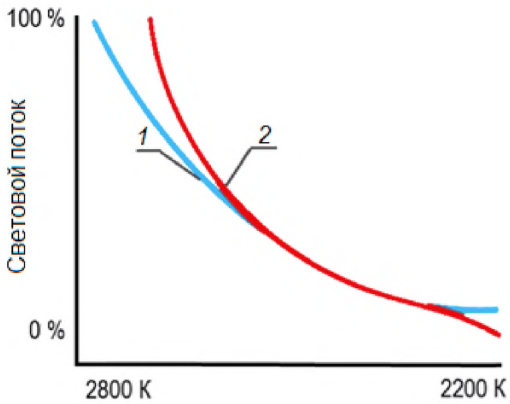
4.3 Спектральные характеристики светодиодных светильников с управляемой цветностью

4.3.1 При реализации управляемых по спектру светодиодных светильников общего освещения на практике применяют три основных метода изменения КЦТ:

- ДТЦ (снижение интенсивности с одновременным снижением КЦТ);
- УОБС;
- УПЦ.

4.3.2 Диммирование к теплому цвету

Технология ДТЦ позволяет уменьшать КЦТ источника света пропорционально интенсивности свечения. Для этого требуются минимум два различных основных светодиода и один канал управления, который одновременно регулирует интенсивность свечения диодов и цвет. При реализации ДТЦ имитируется смещение цвета в красную область, возникающее при диммировании лампы накаливания. При этом при более высокой интенсивности свечения устанавливается более высокая КЦТ (например, 2800 К), при снижении интенсивности КЦТ снижается (до 2200 К). На рисунке 4.15 приведены зависимости изменения КЦТ лампы накаливания (голубая кривая) и светодиодного светильника с функцией ДТЦ.



1 – спектр лампы накаливания 100 Вт; *2* – диммирование к теплому цвету

***Рисунок 4.15* – Изменение КЦТ и светового потока светильника в процессе ДТЦ**

4.3.3 Управление оттенками белого света

Технология УОБС позволяет достижение любой КЦТ при любой интенсивности источника света в пределах указанных параметров. Такие источники света используют для получения различных оттенков белого цвета.

Для реализации технологии требуются минимум два типа светодиодов с различными КЦТ: теплого и холодного оттенка белого цвета. При этом необходимы минимум два канала управления: один для регулировки цвета, второй для регулировки интенсивности свечения.

Соотношение интенсивностей свечения светодиодов каждого канала может быть выбрано произвольно при условии обеспечения суммарной цветности излучения в диапазоне между исходными цветами светодиодов. Смешивание излучения двух цветов обеспечивает линейное изменение цвета. На рисунке 4.16 показана диаграмма цветности с кривой АЧТ и отметками, определяющими КЦТ источников света. Кривая цветности излучения АЧТ на диаграмме цветности не является линейной. Соответственно, технология УОБС приводит к отклонению итогового цвета от кривой АЧТ на диапазоне регулировки, особенно в его центральной части. На практике это приводит к небольшому отклонению оттенка цвета от белого, например «розовению». Этот эффект возрастает с увеличением диапазона регулировки КЦТ, однако в принципе может оставаться допустимым и приемлемым.

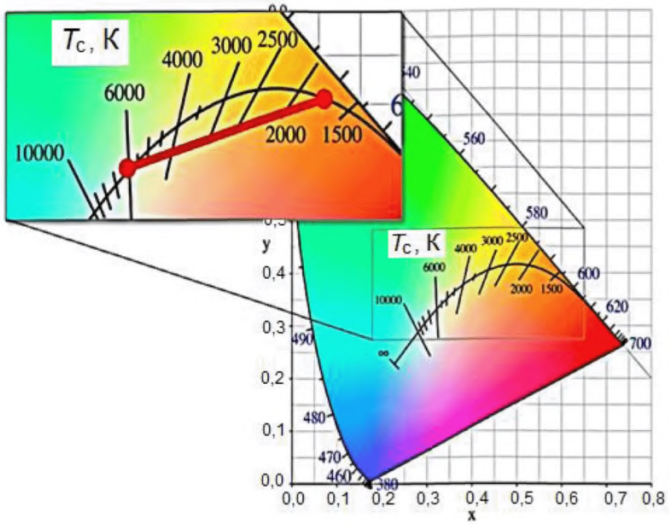
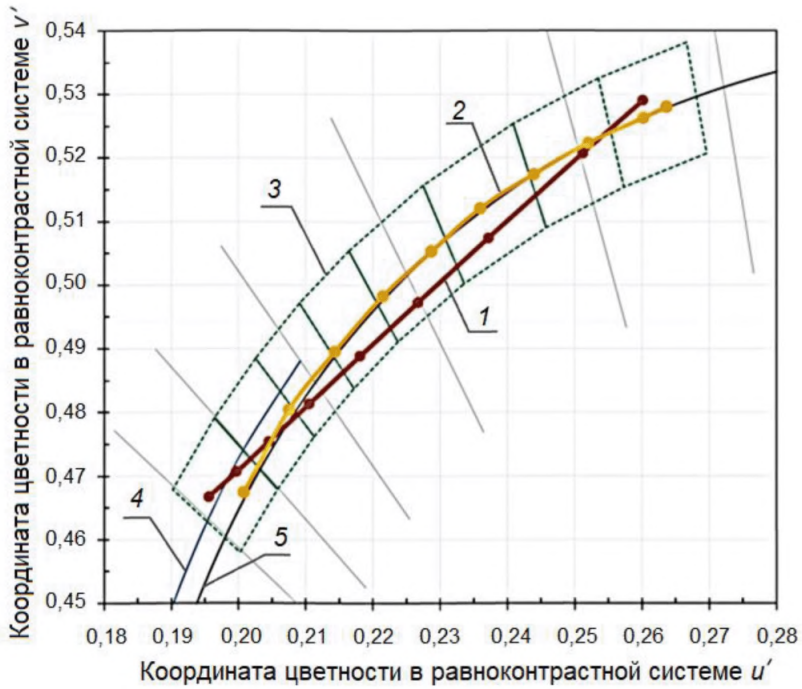


Рисунок 4.16 **– Диаграмма цветности и «прямая цветового смешения» при реализации УОБС**

Для обеспечения изменения цвета строго по кривой АЧТ следует использовать систему с тремя и более каналами регулировки и тремя и более светодиодами различных цветов соответственно (рисунок 4.17).



1 – линейная настройка – изменение цвета на траектории между двумя основными цветами; *2* – нелинейная настройка – изменение цвета вдоль локуса АЧТ при наличии трех основных цветов смешения; *3* – по стандарту ANSI C78.377 [23]; *4* – по локусу дневного света; *5* – по локусу черного тела

***Рисунок 4.17* – Примеры линейной и нелинейной настройки цвета**

4.3.4 Управление полным цветом

Для создания белого или цветного света может быть применена технология УПЦ. С помощью данной технологии можно обеспечить уже описанные выше методы регулировки цвета: ДТЦ и УОБС, если для них определены соответствующие алгоритмы. Для реализации УПЦ требуются минимум, три канала управления тремя типами светодиодов, например красный, зеленый и синий. На рисунке 4.18 схематично показан принцип аддитивного сложения трех базовых цветов для получения света белого цвета.

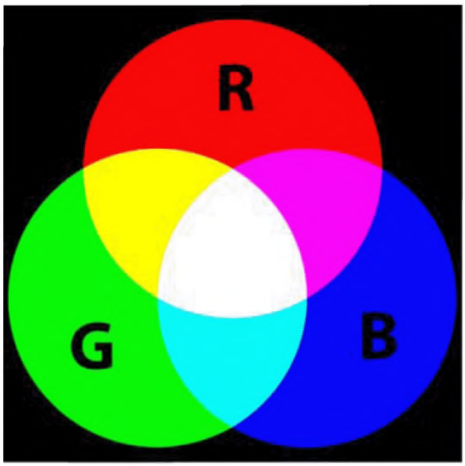


***Рисунок 4.18* – Аддитивное смешивание цветов**

Изменение соотношения интенсивности излучения базовых цветов позволяет получать спектральное распределение мощности смешанного излучения, формирующее белый свет того или иного оттенка, и, таким образом, настраивать цветовые характеристики, в том числе КЦТ светильника, что отражено на рисунке 4.19. На нем показана диаграмма

цветности с тремя источниками основных цветов (красная, синяя и зеленая окружности), результирующие их сложения в разной пропорции и точки на локусе АЧТ.

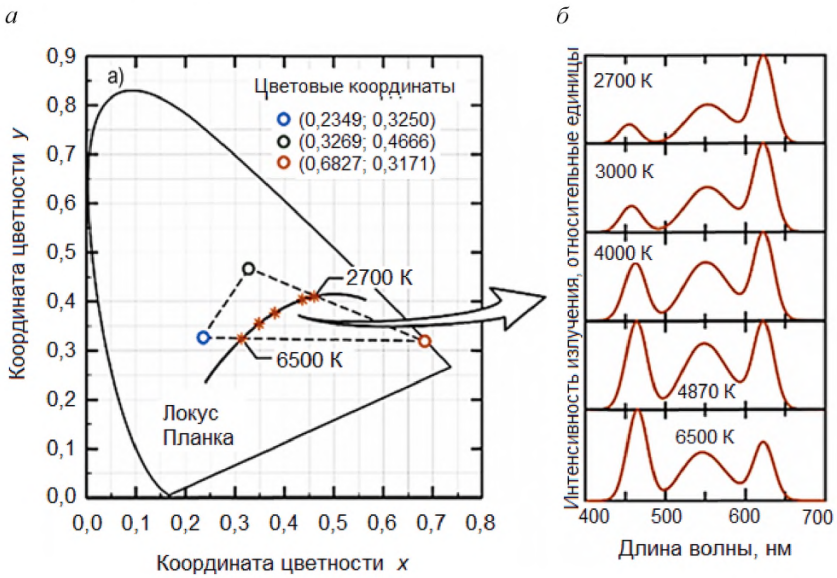


Рисунок 4.19 – Область цветов, которые можно получить с помощью RGB-светодиода (*а*) и варианты спектров излучения (*б*)

При использовании большего количества светодиодов основных цветов и соответствующего числа каналов управления контроль настройки полного цвета существенно усложняется.

4.4 Технические характеристики светодиодных светильников с управляемой цветностью

Для управления ОП с изменяемой цветностью применяют два основных типа схемного решения: отдельные входы управления каналами настройки интенсивности теплого и холодного света и

отдельные входы для регулирования интенсивности свечения и цветности излучения.

Изменение цветности светильника обусловлено изменением спектральных характеристик.

Одновременно происходят изменения: светового потока, потребляемой мощности, коэффициента мощности, световой отдачи во всем диапазоне регулирования цветности. Соответственно технические характеристики светильников с изменяемым цветом должны включать данные, характеризующие динамические изменения данных параметров, в результате чего отчеты об испытаниях становятся намного сложнее по сравнению с отчетами по традиционным светильникам.

На рисунке 4.20 в качестве примера представлен протокол отчета об испытаниях светодиодного светильника с изменяемым спектром, выполненный в программе CALiPER (Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting) [24].

Отчет об испытаниях состоит из четырех разделов:

- первый раздел содержит информацию о компании – производителе светильника, модели и типе светильника, дате проведения испытаний и числе контрольных точек КЦТ внутри диапазона регулировки цветности, в которых будут произведены измерения характеристик, и др.;

- второй раздел содержит результаты испытаний по следующим параметрам: световой поток, лм; потребляемая мощность, Вт; световая отдача, лм/Вт; коэффициент мощности; КЦТ; общие и частные индексы цветопередачи. При этом значения всех параметров приведены для крайних значений цветности, так же определены средние значения;

- в третьем разделе приведены координаты цветности для

Протокол измерений настройки цвета по программе CALIPER

Brand: **Intense**
Model: **MXRTR2TW1NFLWWDMX / IP2-4FK-2**
Catalog #: **MX LED Tunable White Recessed Multiple**
Test ID: **16-S55-D**
Date: **2/23/2018**
Product Type: **Downlight**
Control Type: **DMX**
Tuning Type: **White Tunable**
Measured Points: **11**
Interpolated Points: **101**

	Мини-мум	Макси-мум	При макси-мальном световом потоке
Световой поток, лм	1385	1850	1850
Мощность, Вт	37,0	45,5	41,4
Световая отдача, лм/Вт	35,1	45,4	44,7
Коэффициент мощности	0,97	0,98	0,97
Коррелированная цветовая температура, К	2058	4215	3094
D_{uv}	-0,0027	-0,0005	-0,0024
TM-30-15 R_f	84	88	87
TM-30-15 R_g	101	111	106
TM-30-15 $R_{cs,h1}$	-4 %	4 %	0 %
МКО R_a	85	93	93
МКО R_9	68	98	90

Координаты цветности

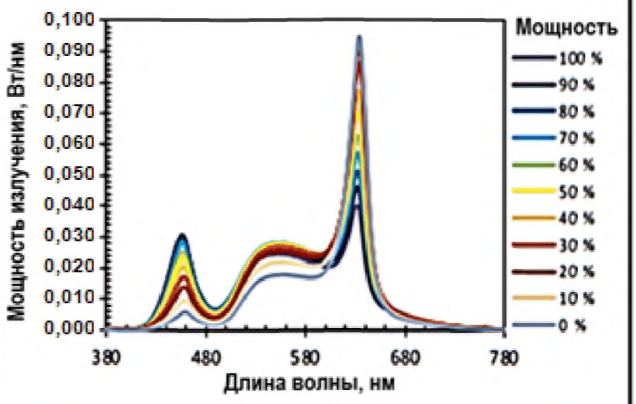
в системе МКО 1931 (x, y)

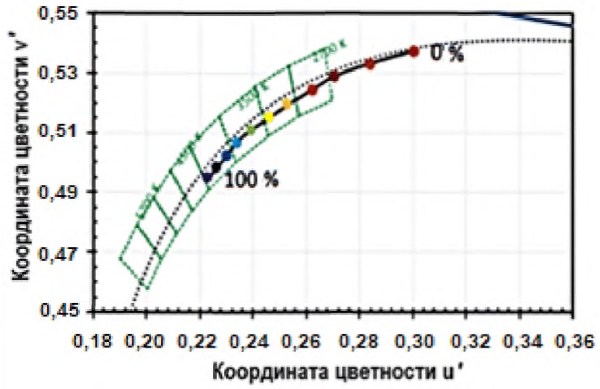
Control Signal	x	y
Минимум	0,3701	0,3651
При световом потоке 47 %	0,4270	0,3946
Максимум	0,5193	0,4127

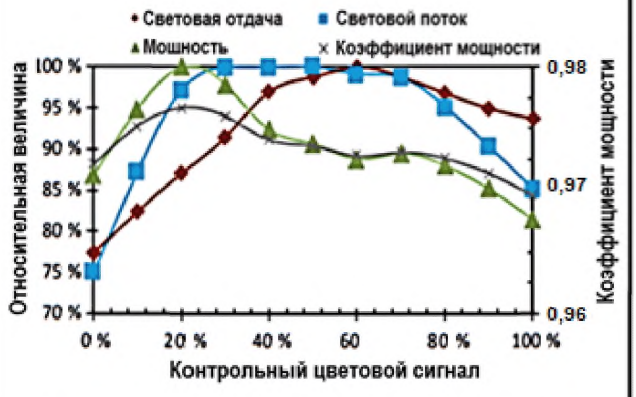
в системе МКО 1976 (u', v')

	u'	v'
Минимум	0,2229	0,4948
При световом потоке 47 %	0,2482	0,5161
Максимум	0,3005	0,5372

Notes: All data from testing at maximum intensity control signal. Measured data shown as markers in charts (excluding SPD); interpolated data (cubic spline) shown as line.







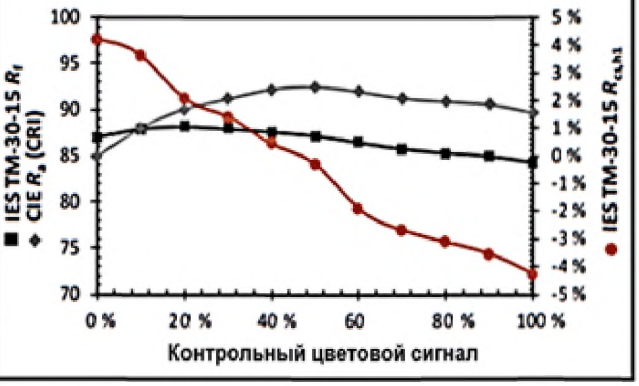


Рисунок 4.20 **– Результаты тестирования светильника компании Intense Lighting**

пространства МКО 1931(x, y) и координаты цветности МКО 1976 (u', v') – минимальные и максимальные значения, а также значения координат при световом потоке 47 %;

- в четвертый раздел включены:

а) спектральное распределение мощности для каждой из шести точек цветности;

б) траектория движения координат цвета вдоль локуса АЧТ при изменении цветности;

в) значения светового потока, потребляемой мощности, световой отдачи и коэффициента мощности для каждой из шести точек цветности;

г) значения общего и частных индексов цветопередачи для каждой из шести точек цветности.

Предложенный формат испытаний и представления характеристик представляется вполне целесообразным. Для диапазона изменения КЦТ от 2500 до 6000 К число контрольных точек должно составлять не менее 7–8. При этом рекомендуется придерживаться следующего правила – одно измерение на каждые 500 К изменения КЦТ. Следует дополнить перечень измеряемых параметров значениями коэффициента пульсаций в процентах во всех точках измерения.

На рисунке 4.21 представлен протокол отчета об испытаниях светильника OWP OPTIMA LED 595 IP54/IP54 CH CF производителя МГК «Световые Технологии» (Российская Федерация) [25], выполненный в формате, аналогичном формату протокола на рисунке 4.20.

Существенным различием светильников «Intense Lighting» и «Световые Технологии» является то, что они выполнены по различным схемам управления цветом. В светильнике OWP OPTIMA LED применена схема линейной регулировки цвета по методу УОБС, а в светильнике «Intense Lighting» – схема тонкой регулировки по методу УПЦ.

МГК «Световые Технологии» - Программа испытаний «Color Fusion»
Протокол измерения №03-07/19

Производитель:

«МГК «Световые Технологии»

Модель: OWP OPTIMA LED 595 IP54/IP54 CH CF

Ссылка

gost.e-ecolog.ru indoor-luminaires/ceiling-luminaires/owp-optima-led-cf/owp-optima-led-595-ip54-ip54-ch-cf/

Номер теста: 03-07/19

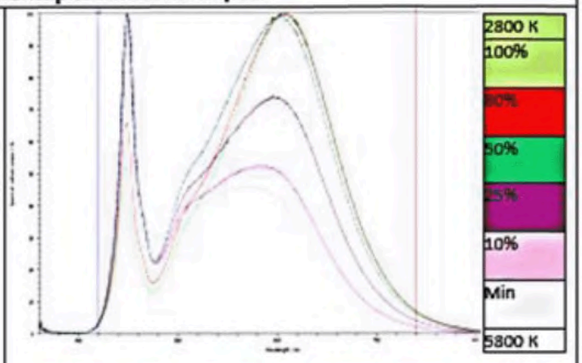
Дата 09.07.2019

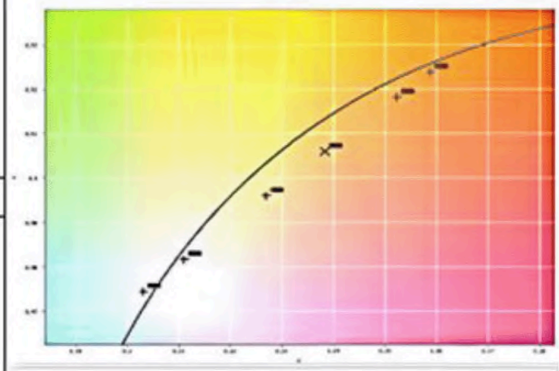
Тип светильника: светильник стационарный потолочный

Управление: DALI

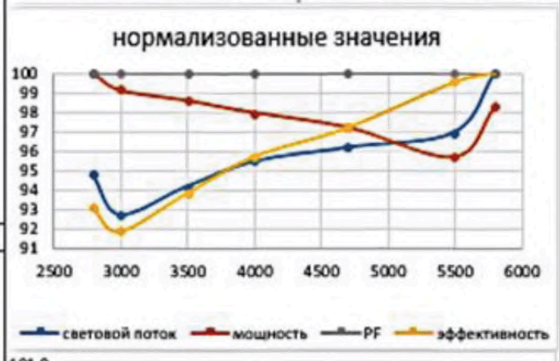
Тип: CH CF White Tunable

Кол-во измеренных точек: 6





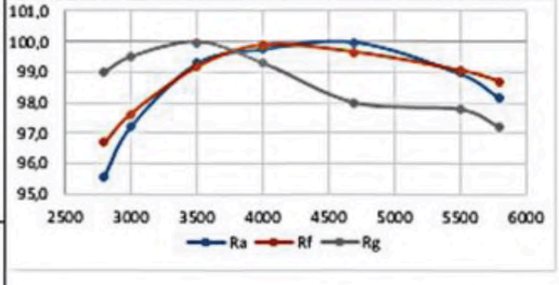
Мин – макс показатели		При макс. потоке
Световой поток, лм	2530 – 2830	2830
Мощность, Вт	32,7 – 34,2	35,5
Световая отдача, лм/Вт	77,3 – 82,7	82,7
Коэффициент мощности	0,95 – 0,95	0,95
Коэффициент пульсаций, %	0 – 2	0
КЦТ, K	2800 – 5800	5800
TM-30-15 Rf	81 – 84	83
TM-30-15 Rg	98 – 100	98
МКО R_a	82 – 86	86
МКО R_9	15 – 29	26



Координаты цветности

в системе МКО 1931 (x, y)	x	y
Control Signal		
Minimum	0,3249	0,3373
Max Output 100%	0,3249	0,3373
Maximum	0,4502	0,4050

в системе МКО 1976 (u', v')	u'	v'
Minimum	0,3163	0,4745
Max Output 100%	0,3163	0,4745
Maximum	0,3491	0,5237



Примечание – Приведены данные при 100% мощности светильника.

Испытания проведены в соответствии с программой Caliper (Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting)

***Рисунок 4.21* – Результаты тестирования светильника OWP OPTIMA LED 595 CH CF производителя «Световые Технологии»**

По данным отчета CALiPER [24], технические характеристики, полученные в ходе испытанной группы светильников с регулируемой цветностью, позволили констатировать, что при линейной регулировке цвета достигается большая световая отдача, а схемное решение оказывается проще, чем при аддитивной нелинейной схеме. Стабильность характеристик при регулировке цветности практически не отличается для двух рассматриваемых вариантов. Оба варианта позволяют поддерживать постоянным световой поток светильников во всем диапазоне изменения цветности.

Следует отметить важность инженерной проработки конструкции светящей части светильников и систем питания и управления, обеспечивающих требуемые характеристики: световой поток, потребляемую мощность и световую отдачу. В случае отклонений и нестабильности при регулировке решение может оказаться непригодным к применению.

5 Методы управления осветительной установкой

5.1 Общие сведения

Современный уровень развития техники позволяет осуществлять следующие основные виды динамического управления ОУ:

- изменение значения генерируемого светового потока/создаваемой освещенности – диммирование;

- изменение спектрального состава генерируемого излучения;

- комбинированное управление – как по потоку/освещенности, так и по цвету излучения.

Одной из важных сфер применения подобных ОУ можно назвать биологически и эмоционально эффективное освещение, которое известно, как HCL (Human Centric Lighting). Его суть заключается в

гармонизации КЦТ искусственного освещения с циркадными ритмами человеческого организма. С установившейся динамикой гормонального фона (в первую очередь, уровнем содержания мелатонина и кортизола), который, в свою очередь, определяется циклическими изменениями естественного света в течение суток. Уровень этих гормонов имеет непосредственное влияние на настроение человека, его работоспособность и общие показатели здоровья в долгосрочной перспективе.

Чаще всего, для реализации концепции HCL, диапазон изменения КЦТ ОУ находится в пределах от 2800 К до 5500–6000 К. Излучение данной цветности можно получить, применяя распространенные типы светодиодных источников света.

В системах HCL и аналогичных ей критически важной становится реализация алгоритма управления – контура управления. Традиционно системы подобного рода используют два раздельных УУ для светодиодов – один для «холодных» светодиодов (КЦТ 4500–6000 К), второй для «теплых» (КЦТ 2800–4500 К), управление которыми осуществляется по тому или иному информационному интерфейсу. Интерфейсы управления драйверами могут быть различными, к получившим наибольшее распространение относятся 0–10 В, DALI, DMX, PWM, PLC.

Однако следует учитывать, что использование аналоговых интерфейсов управления, таких как PWM или 0–10 В, является малоэффективным, так как в них отсутствует возможность одновременного управления световым потоком (диммирования) и управления КЦТ.

Поэтому наиболее предпочтительным является применение цифрового протокола DALI DT8, который имеет соответствующие команды для управления цветом, а также один адрес конечного устройства и один двухканальный источник питания вместо двух одноканальных.

Так, например, для управления системами HCL рекомендуемым является применение профильного программного обеспечения и роутеров DALI type 8 Ambiot или аналогов, а также соответствующего оборудования, например, роутера DALI-64 v1.0 (NCD-115-1) или роутера DALI-128 v1.0 (NCD-215-1), отличающихся количеством адресуемых устройств/светильников – 64 и 128 шт. соответственно.

Для крупных светотехнических проектов (более 100 управляемых светильников) рекомендуется использовать цифровой протоколы DMX или PLC (Power line communication), реализующий управление через сеть питания. Реализация PLC системы возможна, например, с помощью центральных контроллеров системы Ambiot NC v1.0 (NCPM-153-1R) и контроллеров светильников PLC-1 v1.0 (LCPM-02(b)4-1E) или аналогов.

5.2 Варианты организации управления

5.2.1 Динамическое управление светом для внутреннего освещения может осуществляться несколькими основными способами:

- динамическое управление по заданному сценарию (без возможности его изменения);
- динамическое управление по заложенным алгоритмам с использованием АСУО;
- автономное управление с использованием периферийных устройств (датчиков);
- ручное управление.

Данные методы могут применяться самостоятельно или в комбинации (смешанно).

5.2.2 Динамическое управление по заданному сценарию

Динамическое управление по заданному сценарию может быть применено в небольших ОУ, рассчитанных на режим постоянного пребывания людей на объекте. Для реализации такого сценария рекомендуется использовать светильники с драйверами DALI и автономный роутер DALI Ambiot.

5.2.3 Динамическое управление по заложенным алгоритмам с использованием АСУО

Динамическое управление с использованием системы управления по заложенным алгоритмам рекомендуется использовать в больших ОУ зданий и сооружений, в которых осуществляются централизованные мониторинг и управление инженерными сетями. Для реализации подобного сценария рекомендуется использовать профильные программные продукты, которые также называют программными платформами, например программную платформу Ambiot, позволяющую реализовать различные сценарии для разных типов помещений, интегрировать систему освещения в системы BMS. Данная программная платформа позволяет осуществлять гибкие настройку и управление освещением как по времени, так и по различным событиям, в том числе по событиям от датчиков, а также СКУД и иных инженерных систем.

5.2.4 Автономное управление с использованием периферийных датчиков

Управление с использованием датчиков целесообразно применять для достижения большей экономии по сравнению с прямой заменой ОП

на светодиодные. Кроме того, целесообразно применение датчиков в составе АСУО.

По принципу действия датчики делятся на следующие основные виды:

- датчики движения и присутствия;
- датчики освещенности;
- датчики звука.

Датчики могут быть комбинированными. Например, в датчик движения может быть встроен датчик освещенности.

В качестве особого вида датчиков можно рассматривать системы видеонаблюдения с функцией распознавания людей и (или) механизмов в детектируемой зоне.

5.3 Устройства управления освещением

5.3.1 Инфракрасные датчики

Принцип действия инфракрасных датчиков основан на детекции теплового следа, оставляемого объектом, например человеком. По выполняемой функции они могут быть как датчиками движения, так и датчиками присутствия. Их отличие состоит в том, что датчики присутствия формируют соответствующий сигнал в течение всего времени присутствия человека в зоне действия, тогда как датчики движения формируют сигнал только во время движения. Инфракрасные датчики являются самыми простыми, но имеют и слабые стороны. В частности, материал линзы датчика должен пропускать инфракрасный спектр (как правило, это специализированные пластики), поэтому весьма затруднительно использование инфракрасных датчиков там, где необходимо использование стеклянных рассеивателей, например в чистых помещениях или помещениях категории П-IIА. В качестве примера

инфракрасных датчиков можно привести датчик EBDSPIR от компании Ambiot для потолков высотой до 7 м с управляемым релейным выходом или «сухим контактом».

5.3.2 Микроволновые датчики

Эти датчики определяют присутствие объекта в зоне действия по изменению электромагнитных характеристик поля СВЧ. Не имеют недостатков, присущих инфракрасным датчикам. Однако данный вид датчиков является весьма чувствительным оборудованием, и при проектировании важно правильно заложить параметры оборудования. В качестве примера оборудования можно привести комбинированный датчик освещенности/движения MWS5 от компании Ambiot для потолков высотой до 8 м с управляемым релейным выходом или «сухим контактом».

5.3.3 Датчики звука

Принцип действия датчиков звука основан на детектировании акустических колебаний определенного спектра. Они могут быть настроены на определение, например, звука открытия дверей или иного шума. Порог срабатывания указывается в децибелах. Существуют сценарии, когда датчик звука может быть настроен не только на генерацию сигнала о детектировании звука, но и на определение уровня и динамики звука в помещении. Анализ акустической информации позволяет определить род деятельности и эмоциональное состояние персонала и «подстроить» освещение для обеспечения комфортных условий. Такие сценарии преимущественно используются в осветительных установках с концепцией HCL [26].

5.3.4 Датчики освещенности

Наиболее часто применяются для регулирования мощности световых приборов в зависимости от условий естественной освещенности. Примером такого устройства является универсальный датчик освещенности LSmart v1.0 (LSR-61(r)1-1). Особенностью этого датчика является способность в составе АСУО учитывать/передавать как параметры освещенности через протокол Modbus, так и автономно включать/выключать реле и соответствующие светильники при прохождении заданного, заранее установленного, предела освещенности. Настройка параметров данного датчика осуществляется через Bluetooth, что позволяет использовать, например, смартфон для изменения настроек.

5.3.5 Ручное управление

Ручное управление реализуется с помощью интеграции в систему реле кнопочных или сенсорных панелей управления (интерфейсов). При этом ручное управление ОУ возможно реализовать с помощью любого из перечисленных выше интерфейсов. Панели управления могут иметь элементы управления (кнопки, переключатели) как для предустановленных сценариев, так и для динамического управления (например, кнопочные панели Ambiot Dali). Пример кнопочных панелей для ручного управления освещением представлен на рисунке 5.1.



а) Панель с предустановленными сценариями (DALI-4K-Dim-1G-4S)



б) Панель для динамического управления четырьмя группами (DALI-8K-Dim-4G)

***Рисунок 5.1* – Внешний вид панелей управления**

Необходимо отметить, что реализация всей полноты функционала современных систем управления освещением невозможна с использованием только кнопочных панелей. Поэтому для ОУ, требующих реализации расширенного функционала, рекомендуется использовать сенсорные панели управления. Внешний вид сенсорной панели модели IAdea XDS-1078 представлен на рисунке 5.2.



***Рисунок 5.2* – Внешний вид сенсорной панели управления**

6 Особенности проектирования динамического освещения по освещенности

6.1 Общие сведения

При проектировании ОУ, реализующей функцию динамического освещения, в обязательном порядке следует соблюдать и документировать процедуру определения и выбора реализуемого решения на следующих этапах:

- требования к системе управления с учетом целей освещения – на этапе технического задания;

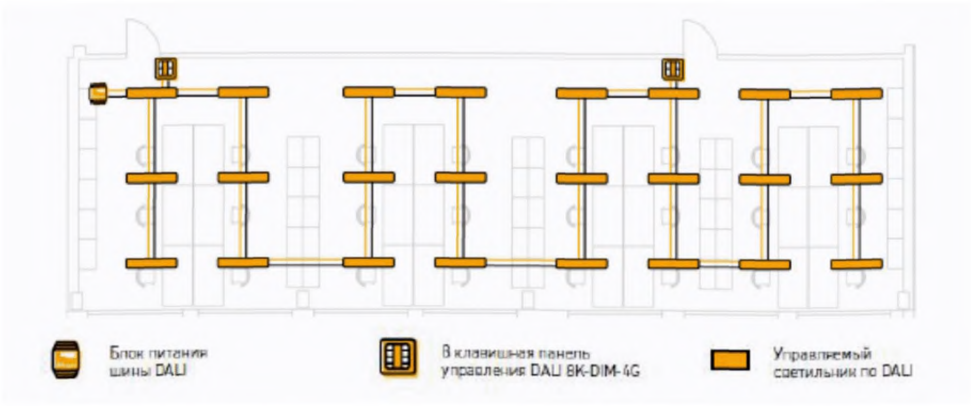
- определение сценариев и аппаратной реализации, в том числе по протоколу управления, – на этапе технического предложения;

- проектные решения, отражающие показатели качества световой среды и энергоэффективности, создаваемые системой динамического освещения, – на этапе эскизного проекта.

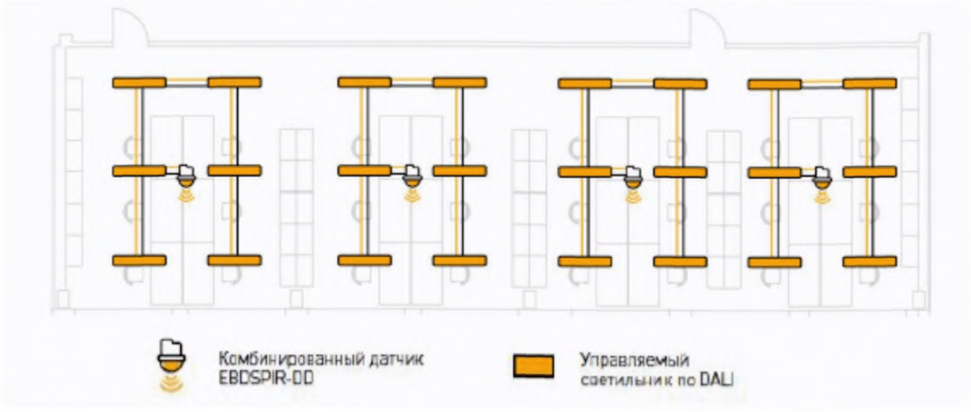
Необходимо учитывать, что самостоятельная настройка систем управления пользователями при эксплуатации, как правило, затруднительна и затратна.

Проектирование и разработка типовых сценариев управления должны осуществляться с привлечением профильных специалистов и учетом реальных данных об объекте: уровень и продолжительность инсоляции, режим работы (пребывания людей), сменность, целевое предназначение помещений и т. д.

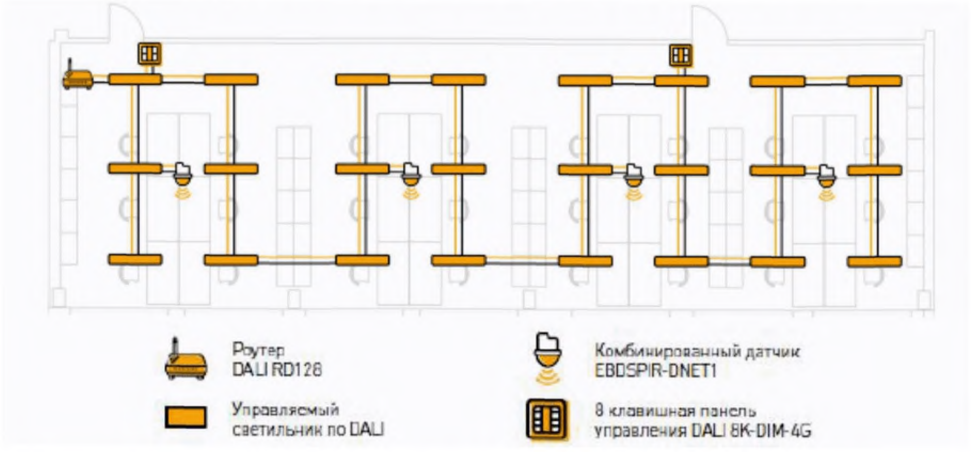
В качестве примера на рисунке 6.1 представлены варианты реализации ОУ при использовании системы управления Ambiot DALI. Соответствующий сценарий изменения КЦТ и освещенности в течение рабочего дня приведен на рисунке 6.2.



а) Бюджетный вариант – локальное управление



б) Средний сегмент – автоматическое управление



в) Премиум сегмент – комбинированное управление

Рисунок 6.1 **– Возможные варианты построения систем управления освещением**

Как видно из рисунка 6.2, КЦТ источников света меняется на протяжении рабочего дня таким образом, чтобы оказывать целесообразное влияние на циркадные ритмы человека.

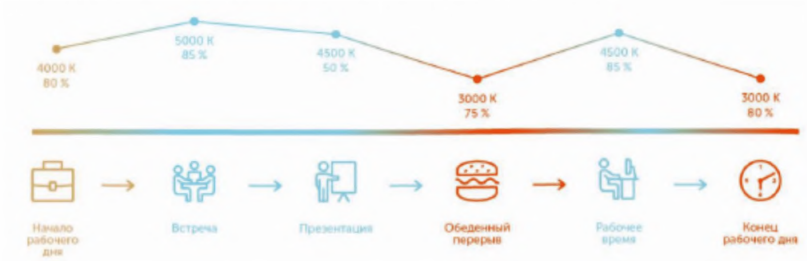


***Рисунок 6.2* – Сценарий управления освещением в течение дня**

6.2 Применение датчиков в системах освещения

Любые датчики характеризуются минимум двумя показателями: рекомендуемая высота установки и поле зрения (поле зрения может представлять собой окружность или эллипс в проекции на плоскость пола помещения).

Датчики необходимо выбирать и располагать таким образом, чтобы контролируемая ими зона надежно перекрывалась полем зрения датчика, например, как показано на рисунке 6.3.

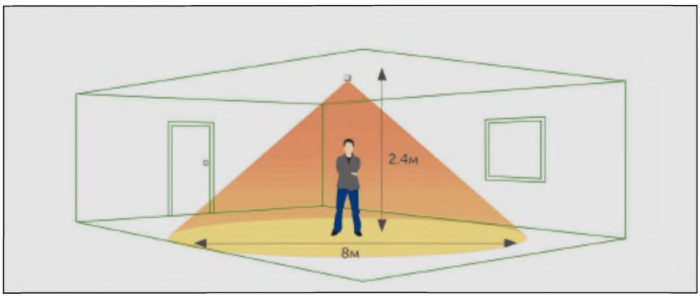


***Рисунок 6.3* – Поле зрения датчика движения**

Применение датчиков в системе освещения служит для следующих целей:

- снижение освещенности в случае отсутствия человека в зоне действия датчика (зоне детекции), например, как показано на рисунке 6.4. При этом полное выключение освещения не рекомендуется в целях безопасности;

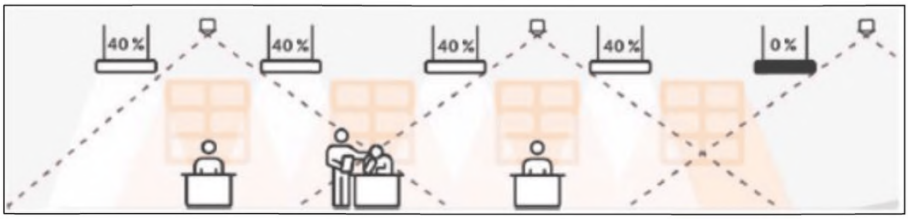


***Рисунок 6.4* – Перекрытие полей зрения датчиков движения в системе управления**

- поддержание заданной освещенности в зависимости от условий естественной освещенности;

- включение/выключение ОП по сигналу с датчика.

Могут быть и более сложные варианты применения датчиков, например изменение КЦТ светильников при изменении уровня шума в помещении. Подобные варианты могут применяться в переговорных комнатах со следующим алгоритмом – чем выше уровень шума от присутствующих людей, тем теплее становится КЦТ светильников, снижая тем самым состояние возбуждения людей, и наоборот [26].

С точки зрения интеграции датчиков в систему освещения необходимо учитывать следующие факторы:

- для простых систем освещения без использования сложных алгоритмов управления рекомендуется использовать датчики с

двухсторонним (бинарным) выходом типа «сухой контакт», который позволяет лишь включить и выключить осветительные приборы;

- для небольших светотехнических проектов, требующих снижения светового потока, рекомендуется использовать датчики с аналоговым интерфейсом 0–10В. Датчики с этим интерфейсом могут управлять группой ОП;

- для больших и сложных систем рекомендуется применять датчики с цифровыми интерфейсами, такими как DALI, DMX, BLE, PLC.

При проектировании систем освещения с управлением на основе датчиков рекомендуется проводить группировку светильников: один датчик управляет не всеми ОП в помещении, а одной группой. При группировке светильников рекомендуется учитывать размеры и форму помещения, расположение рабочих мест, расположение окон, расположение мебели и крупногабаритного оборудования. Пример группировки светильников при применении нескольких датчиков в одном помещении показан на рисунке 6.1, б, в варианте автоматической системы управления среднего сегмента.

При проектировании и реализации систем управления освещением необходимо учитывать, что применение датчиков требует проведения пусконаладочных работ после монтажа системы. Пусконаладочные работы заключаются в регулировке датчика под условия конкретного помещения, например, уровень естественной освещенности с учетом расстановки мебели или оборудования, порогового уровня звука с учетом акустики помещения и т. д.

6.3 Области применения динамических систем

Управление ОУ имеет большое значение в различных сферах освещения как для создания комфортной световой среды, так и для улучшения самочувствия людей, работающих в условиях искусственного освещения. При этом, включение и выключение ОУ, управление уровнем

диммирования может осуществляться как пользователем вручную, так и автоматически по заложенному в систему сценарию изменения уровня освещенности в течение дня или по сигналу от датчика освещения. Данные способы управления наиболее оптимально реализовывать с использованием таких протоколов/интерфейсов управления, как 0–10 В, DALI, DMX, PWM, PLC.

К основным сферам применения ОУ с изменяемыми КЦТ и освещенностью относятся следующие:

- офисные объекты и образовательные организации;

- промышленные объекты, особенно те, где работа осуществляется в беспрерывном режиме или требуется повышенное внимание (диспетчерские, центры управления, ситуационные центры и т. п.);

- жилые помещения;

- торгово-развлекательные комплексы;

- и другие объекты.

В различных помещениях могут быть использованы системы освещения с разным уровнем автоматизации:

- вспомогательные помещения с временным пребыванием людей, например, черные лестницы, кладовые, санузлы и т. д. – автономные системы освещения на основе датчиков движения, присутствия, звука;

- помещения общего назначения с временным пребыванием людей, например, коридоры, вестибюли и т. д. – автоматизированные системы с использованием датчиков движения, естественной освещенности;

- основные помещения с постоянным пребыванием людей, например, рабочие кабинеты, бюро и пр. – полностью автоматизированные ОУ, включая HCL.

6.4 Расчет сцен освещения с диммированием

6.4.1 Применение систем динамического освещения требует

документального подтверждения достигаемых параметров/показателей, например энергоэффективности/энергосбережения. Самый наглядный способ такого подтверждения – учет особенностей динамических систем на этапе светотехнического проектирования и проведения соответствующих расчетов. Это особенно важно в том случае, когда реализуется диммирование, то есть варьируется значение освещенности на освещаемой/рабочей поверхности.

Поскольку динамические системы с учетом естественного освещения могут быть различными, алгоритмы для них будут иметь свои особенности. Ниже рассмотрены алгоритмы для двух типовых систем, которыми являются:

- динамическая система с диммированием;
- динамическая система с HCL.

6.4.2 Динамическая система с диммированием

В качестве примера рассмотрим типовое офисное помещение с размерами 9 × 15 × 3м, для этого помещения значение индекса помещения равно 2,56 по [27, подраздел 1.9]. Помещение имеет ряд боковых светопроемов (окон) в одной длинной стороне помещения, ориентированной на запад.

К первому этапу проектирования относятся выбор типа ОП и определение их количества, чтобы обеспечить нормативные показатели освещения на рабочих местах, то есть проводят светотехнический расчет статической системы освещения на заданную норму освещенности (разряд зрительных работ).

В рассматриваемом примере использованы светильники OPL/R ECO LED 595 HFD 4000 K производства МГК «Световые Технологии». Светильники реализуют функцию диммирования с управлением по протоколу DALI.

По таблице 4.3 СП 52.13330.2016 определяют коэффициент эксплуатации. В рассматриваемом примере значение коэффициента эксплуатации составляет 0,75, что соответствует коэффициенту запаса 1,33.

На основе расчета по [26] или программе автоматизированного светотехнического расчета [28] определяют количество и расположение ОП. В данном случае ОУ состоит из 24 светильников и обеспечивает среднюю освещенность $E_{ср}$ = 469 лк и равномерность распределения освещенности $E_{мин}/E_{ср}$ = 0,51. Потребляемая мощность ОУ составляет 768 Вт, что соответствует удельной мощности 5,69 Вт/м^2. Вид помещения и размещение ОП показаны на рисунке 6.5.

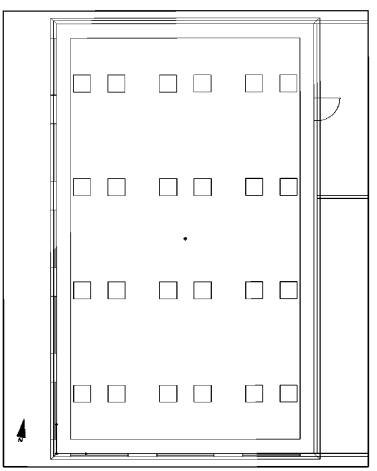


Рисунок 6.5 **– Расположение ОП в помещении (стрелка указывает направление на север)**

На данном этапе должно быть проверено соответствие удельной мощности требованиям таблицы 7.4 СП 52.13330.2016. В случае несоответствия должны быть изменены тип ОП, их количество или расположение. В данном примере удельная мощность не должна

превышать 12 Вт/м^2 (таблица 7.4 СП 52.13330.2016), а норма освещенности 400 лк, поскольку индекс помещения более 2.

Следующий этап – оценка потребления электроэнергии системой освещения при диммировании с учетом естественного освещения. Оценка должна учитывать статистические данные о ходе естественной освещенности на широте объекта. В данном примере использованы данные об изменении естественной освещенности на широте Москвы по данным [29]. См. рисунок 6.6.

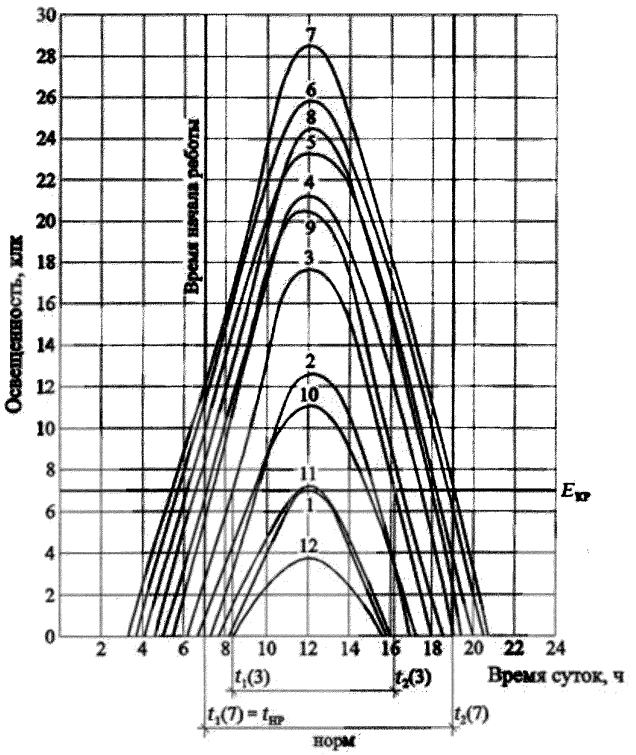


***Рисунок 6.6* – Естественная освещенность в течение суток в разные месяцы года на широте Москвы**

На данном этапе важно выделить группы ОП, которые будут управляться (диммироваться) одинаково. При группировке ОП следует учитывать число и расположение датчиков освещенности, нагрузочную способность управляющего оборудования (число светильников, которые могут быть подключены к одному контроллеру или датчику), расположение окон, форму и размер помещения. Также при группировке необходимо учитывать требования и рекомендации по группировке ОП для управления в помещениях конкретного назначения, установленные в нормативных документах. Например, согласно пункту 7.2.7 СанПиН 2.4.2.2821–10 в учебных помещениях и пункту 5.4.8 СП 256.1325800.2016 в конструкторских бюро управление освещением должно происходить рядами, параллельными световым проемам. Для прямоугольного помещения светильники рекомендуется группировать в линии, параллельные стене с окнами. В рассматриваемом примере светильники сведены в три группы, в каждой группе восемь ОП (две линии, расположенные параллельно стене с окнами). Первая линия – ближняя к окнам.

Для расчета показателей совмещенного освещения (естественное плюс искусственное) рекомендуется использовать профильное программное обеспечение. Расчет коэффициента естественного освещенности (КЕО) выполняется на облачное небо МКО по СП 367.1325800 с использованием программного комплекса «СИТИС:Солярис 8» [30].

Определение энергопотребления динамической системы совмещенного освещения происходит на основе расчетных данных глубины диммирования светильника – доли излучаемого светового потока относительно номинального светового потока ОП. Глубину диммирования определяют в ходе светотехнического расчета с учетом естественного освещения. При проведении светотехнического расчета значение коэффициента эксплуатации (коэффициента запаса)

устанавливают равным единице. Глубину диммирования ОП подбирают таким образом, чтобы выполнялись требования по освещенности и равномерности освещенности на рабочих местах или по помещению в целом.

Были проведены светотехнические расчеты для 12 часов дня (12:00) каждого первого дня месяца. Определенные в ходе светотехнического расчета глубины диммирования групп светильников приведены в таблице 6.1 в строках «линия 1» – «линия 3».

На основании полученных данных определяют расчетное значение потребляемой мощности системы освещения по формуле

$$P = \sum_i P_n \cdot N \cdot D, \qquad (6.1)$$

где P_n – потребляемая мощность единичного светильника;

N – число светильников в группе;

D – глубина диммирования светильников в группе, все ОП в группе имеют одинаковую глубину диммирования;

i – число групп светильников.

Удельную мощность на освещение определяют как отношение потребляемой мощности системы освещения к площади помещения.

Например, для января:

$I = 3$, $P_n = 32$ Вт, для линии 1 $D = 0{,}45$, для линии 2 $D = 0{,}65$, для линии 3 $D = 0{,}8$.

Потребляемая мощность системы освещения по формуле (6.1), Вт, будет равна:

$P = (32 \cdot 8 \cdot 0{,}45) + (32 \cdot 8 \cdot 0{,}65) + (32 \cdot 8 \cdot 0{,}8) = 115{,}2 + 166{,}4 + 204{,}8 = 486{,}4$.

Удельная мощность на освещение: площадь помещения $S = 9 \times 15 = 135$ м^2, $P/S = 486{,}4/135 = 3{,}60$ Вт/м^2.

Данные об энергопотреблении ОУ с динамическим управлением при совмещенной системе освещения, полученные для рассмотренного в примере помещения, показаны в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Номер группы светильников/ параметр	янв.	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.
Линия 1	45 %	45 %	35 %	25 %	10 %	5 %	0 %	5 %	15 %	25 %	35 %	45 %
Линия 2	65 %	60 %	55 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	55 %	60 %	65 %
Линия 3	80 %	80 %	80 %	85 %	80 %	70 %	70 %	70 %	70 %	80 %	80 %	80 %
Потребляемая мощность, Вт	486,4	473,6	435,2	409,6	358,4	320	307,2	320	345,6	409,6	448	486,4
Удельная мощность, Вт/м^2	3,60	3,51	3,22	3,03	2,65	2,37	2,28	2,37	2,56	3,03	3,32	3,60

Для определения энергопотребления необходимо определить параметры диммирования системы при отсутствии естественного освещения, что представляет собой наихудший вариант с точки зрения энергосбережения. Для этой цели подбирают уровни диммирования групп светильников и проводят светотехнический расчет с коэффициентом эксплуатации, равным единице. В рассматриваемом примере потребляемая мощность ОУ в данном режиме составила 551 Вт.

Когда определены максимальная и минимальная потребляемые мощности ОУ, становится возможным учесть влияние изменения естественной освещенности в течение дня на энергопотребление ОУ. Для этой цели необходимо по статистическим данным о естественной освещенности в регионе расположения объекта построить относительные зависимости естественной освещенности от времени суток (в долях единицы) для каждого месяца. Зависимость рекомендуется определять с шагом 1 ч (величина $E_{e,h}$). По полученным данным определяют потребляемую мощность системы для каждого часа рабочего дня по формуле

$$P_h = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min})\,(1 - E_{e,h}). \qquad (6.2)$$

Полученные значения потребляемой мощности, полученные с шагом 1 ч, суммируют, что определяет потребление электроэнергии за один рабочий день. Для получения энергопотребления ОУ за месяц необходимо дневное энергопотребление умножить на число рабочих дней в месяце.

Результаты расчетов дневного энергопотребления для рассмотренного помещения показаны на рисунке 6.7.

Результаты расчетов энергопотребления в месяц для данного помещения показаны на рисунке 6.8. Рисунок 6.8 построен с учетом производственного календаря на 2019 год.

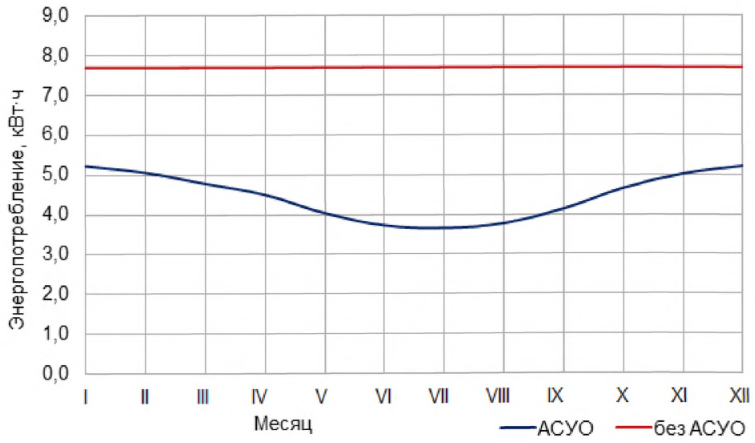


***Рисунок 6.7* – Дневное энергопотребление**

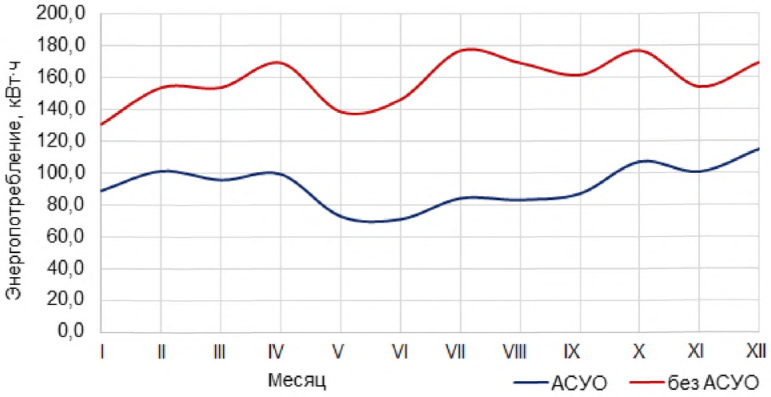


***Рисунок 6.8* – Энергопотребление в месяц**

Для оценки годового энергопотребления достаточно просуммировать полученные данные по энергопотреблению за каждый месяц.

Для рассмотренного примера энергопотребление ОУ с АСУО составило 1103 кВт·ч, для статической ОУ без АСУО – 1897 кВт·ч. Таким образом, ожидаемое снижение энергопотребления составляет порядка 41,8 %. Из них 28 % обеспечивается за счет компенсации заложенного в ОУ коэффициента запаса динамическим диммированием и 13 % – за счет использования естественного света.

Следует учитывать, что на итоговые уровни энергопотребления и экономии будут влиять такие дополнительные факторы, как глубина помещения, ориентация световых проемов.

Результаты расчетов рекомендуется вносить в соответствующий раздел проектной документации на ОУ.

6.4.3 Динамическая система Human Centric Light

В качестве примера использовано то же помещение, что и для системы с диммированием (6.52): 9 × 15 × 3 м (индекс помещения - 2,56), окна расположены по длинной стороне помещения, ориентированной на запад.

Сценарий изменения параметров освещения тот же, который приведен в 6.4.2 (рисунок 6.9).

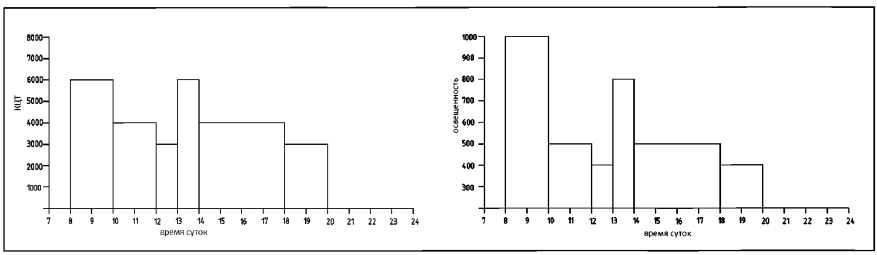


***Рисунок 6.9* – Сценарий HCL**

На первом этапе проводят те же действия, что и для системы с диммированием с учетом особенностей HCL: выбор ОП и расчет статической системы на максимальную освещенность сценария с учетом коэффициента запаса.

В данном примере использованы светильники OPL/R ECO LED 595 CH CF производителя МГК «Световые Технологии». Светильник позволяет управлять световым потоком и изменять КЦТ в диапазоне от 2700 до 5700 К, управление осуществляется по протоколу DALI DT8.

Для создания ОУ использовано 72 светильника, что позволяет получить среднюю освещенность $E_{ср}$ = 1231 лк, $E_{мин}/E_{ср}$ = 0,596 с коэффициентом эксплуатации 0,75. Потребляемая мощность в статическом режиме полной мощности составляет 2,16 кВт, удельная

мощность – 16 Вт/м^2. Расположение ОП в помещении показано на рисунке 6.10.

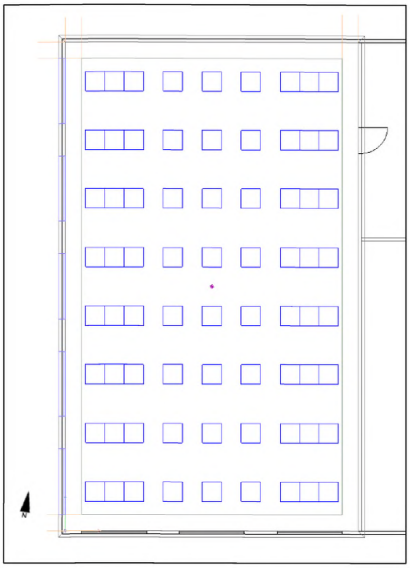


***Рисунок 6.10* – Расположение ОП в помещении**

В данном случае проверить соответствие ОУ требованиям по энергоэффективности не представляется возможным, поскольку максимальная норма освещенности в таблице 7.4 СП 52.13330.2016 составляет 500 лк. Для сравнения: для освещенности 500 лк при индексе помещения более 2 предельное значение удельной мощности составляет 15 Вт/м^2. Таким образом, полученное в расчете значение удельной мощности не представляется чрезмерно большим.

Следующий шаг – группировка светильников для организации управления. Рекомендации по группировке были представлены при рассмотрении примера ОУ с динамическим диммированием. В рассматриваемом примере ОП сгруппированы в девять линий по восемь

светильников, линии вытянуты вдоль длинной стены помещения. Линия 1 – ближайшая к окнам.

Система HCL характеризуется переменным значением освещенности, поэтому светотехнический расчет с учетом дневного освещения и коэффициентом эксплуатации, равным 1, необходимо выполнить для каждого режима ОУ (для каждого уровня освещенности). В данном случае расчеты выполнялись для 9:00, 11:00, 12:30, 13:30, 16:00 и 19:00 (времена суток соответствуют серединам временных промежутков каждого уровня освещенности по рисунку 6.9), расчеты выполнены для даты 1 июля.

Результаты расчетов (уровни диммирования, потребляемая мощность ОУ и удельная мощность) показаны в таблице 6.2.

Таблица 6.2

№ группы светильников/параметр	Уровень диммирования					
	Время дня					
	9:00	11:00	12:30	13:30	16:00	19:00
1	30 %	0 %	0 %	20 %	0 %	10 %
2	30 %	0 %	0 %	20 %	0 %	10 %
3	30 %	10 %	0 %	20 %	20 %	10 %
4	70 %	30 %	20 %	60 %	40 %	30 %
5	60 %	30 %	20 %	50 %	30 %	30 %
6	70 %	30 %	20 %	60 %	30 %	30 %
7	70 %	20 %	25 %	50 %	20 %	20 %
8	50 %	30 %	25 %	40 %	30 %	20 %
9	70 %	40 %	30 %	50 %	40 %	30 %
Потребляемая мощность ОУ, Вт	1152	456	336	888	504	456
Удельная мощность ОУ, Вт/м^2	8,5	3,4	2,5	6,6	3,7	3,4

Как видно из таблицы 6.2, ОУ имеет высокую потребляемую и удельную мощность только при высокой освещенности, но продолжительность этих пиков невелика. В остальное время потребляемая мощность ОУ – на уровне обычной системы с динамическим диммированием.

Для получения величины дневного энергопотребления необходимо полученные значения потребляемых мощностей умножить на

длительности временны́х промежутков в часах и просуммировать полученные результаты. В данном случае для июля дневное энергопотребление системы оценивается в 7,4 кВт·ч.

Энергопотребление системы для других месяцев определяется методом пропорции по зависимости, определенной для системы с диммированием (рисунок 6.7). В рассматриваемых примерах дневное энергопотребление в июле составило примерно 69,6 % максимума (максимум приходится на январь).

Таким образом, строят зависимость дневного энергопотребления ОУ по месяцам, представленную на рисунке 6.11. Из данной зависимости, учитывая количество рабочих дней в месяцах в соответствии с производственным календарем, выводят энергопотребление ОУ в месяц, показанное на рисунке 6.12.

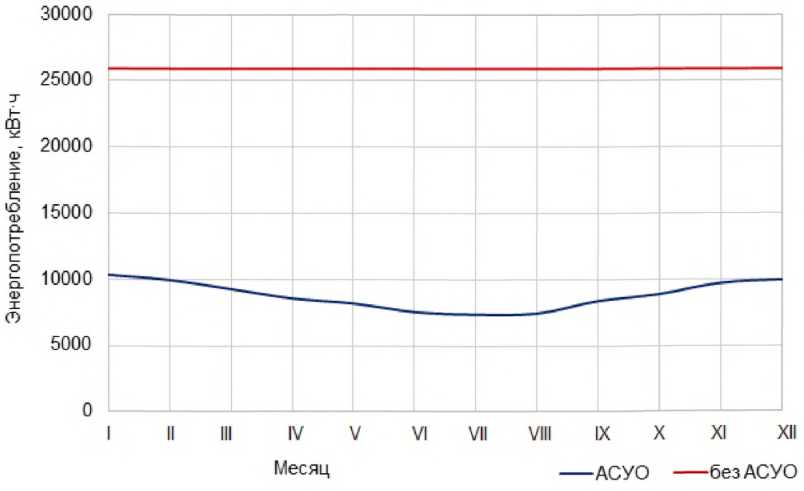


***Рисунок 6.11* – Дневное энергопотребление ОУ по месяцам**

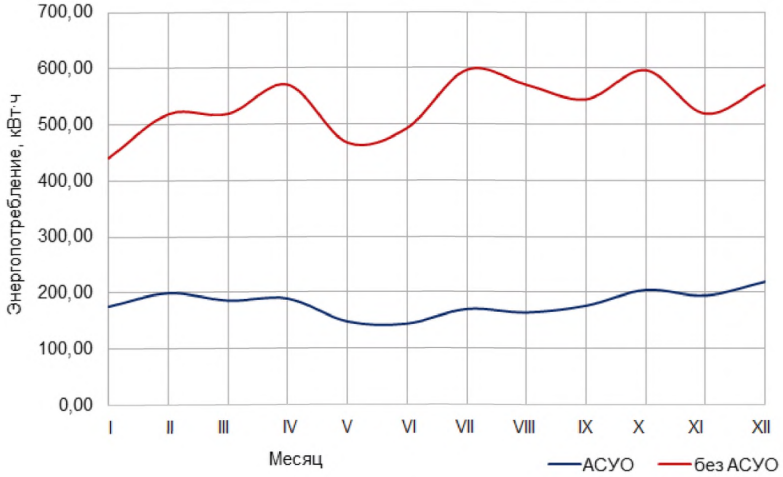


***Рисунок 6.12* – Энергопотребление ОУ в месяц**

Годовое энергопотребление ОУ определяется, как сумма энергопотреблений за все месяца года. В рассмотренном примере годовое энергопотребление ОУ с АСУО оценено в 2167 кВт·ч, в то время как без АСУО – 6402 кВт·ч. Таким образом, динамическое управление светом реализует экономию 66 % относительно энергопотребления статической системы.

Отдельно следует отметить, что, несмотря на большую установленную мощность ОУ с HCL, годовое энергопотребление системы сравнимо со статической ОУ без HCL. Работа в течение большей части времени светильников системы не в режиме полной мощности существенно увеличит срок службы светильников.

7 Особенности проектирования динамического освещения по спектру

7.1 Общие сведения

Современные технологии светодиодного освещения позволяют эффективно реализовывать управление цветом излучения. Данный эффект обычно основан на использовании в ОП светодиодов минимум с двумя различными значениями КЦТ. Изменения значения силы тока через каждый из них позволяет в сочетании получать широкий цветовой спектр оттенков белого цвета излучения.

Наибольшее развитие в мировой практике получили следующие технологии, реализующие динамическое освещение по спектру:

- УОБС;
- световая среда, ориентированная на человека (HCL).

7.2 Управление оттенками белого света

Основа технологии УОБС светильников общего освещения – наличие в одном светильнике минимум двух групп ИС с разными КЦТ и УУ с независимо управляемыми выходами. ИС равномерно распределены внутри ОП, их излучение эффективно смешивается и на выходе воспринимается как однородное белое. Независимое управление группами позволяет изменять соотношение потоков ИС с разной КЦТ, а значит – менять и результирующую КЦТ светильника.

Технология может быть применена с ручными регуляторами, что позволяет пользователю выбирать комфортные на данные момент параметры среды, например, освещенность и КЦТ.

Допускается создание систем с несколькими фиксированными значениями КЦТ. При выборе целесообразных цветовых режимов ОУ для

различных ситуаций можно руководствоваться апробированными диапазонами КТЦ:

- режим для создания условий отдыха: 2700 – 3000 К;
- режим общей офисной работы: 4000 – 4500 К;
- режим работы, требующий концентрации внимания и сосредоточенности: 5000 – 5700 К.

Допускается создание дополнительных цветовых режимов для различных ситуаций исходя из предпочтений персонала.

При проектировании систем с технологией УОБС должно подтверждаться выполнение норм освещенности при любой КЦТ или любом цветовом режиме. Также при любом цветовом режиме должны соблюдаться требования по индексу цветопередачи, установленные для конкретного помещения, а также требования к светильникам по [31].

Системы по технологии УОБС следует использовать в помещениях с постоянным пребыванием людей (офисы, рабочие комнаты, бюро и т.д.). Допускается создание ОУ с данной технологией в помещениях с временным пребыванием людей, если помещение выполняет представительские функции (холл, фойе, главный коридор).

Одновременно с технологией УОБС допускается применение диммирования светильников по световому потоку. Предпочтение следует отдавать системам автоматического диммирования на основании датчиков освещенности, учитывающих уровень естественного освещения. ОУ должна быть откалибрована таким образом, чтобы на рабочих местах соблюдались установленные нормы освещенности при любом уровне естественной освещенности.

Энергетическая эффективность ОУ с УОБС должна быть не хуже ОУ со статической КЦТ и соответствовать требованиям по удельной мощности на освещение для конкретной нормы освещенности и индекса помещения в соответствии с СП 52.13330. Энергетическая

эффективность ОУ должна проверяться для максимальной и минимальной КЦТ ОУ.

7.3 Световая среда, ориентированная на человека

7.3.1 Общие сведения

Концепция HCL основана на результатах исследований в области биологического воздействия света на человека и формирование циркадных ритмов его организма. Циркадный ритм – биологический ритм периодичностью примерно 24 ч, за который проходит полный цикл биохимических, физиологических и поведенческих процессов в живом организме [39].

К циркадным ритмам относятся циклические изменения концентрации гормонов мелатонина и кортизола, температуры тела и т.д. (рисунки 7.1 и 7.2) [32], [33]. Изменение уровня гормонов мелатонина (гормон сна) и кортизола (гормон бодрости) влияет на эмоциональное и физическое состояние человека.

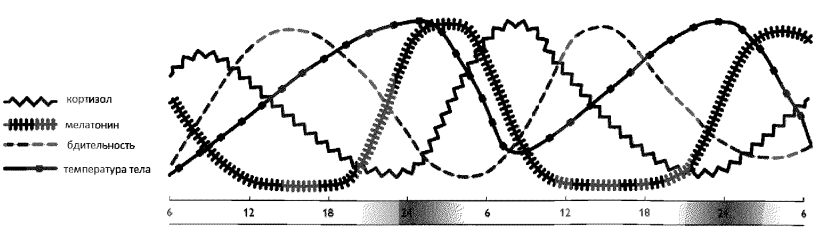


***Рисунок 7.1* – Циркадное изменение концентрации гормонов**

Исследования показали, что воздействие на человека света с высокой КЦТ приводит к повышению концентрации внимания и ощущению бодрости. Если такое воздействие происходит утром, то происходит стабилизация циркадных ритмов человека, повышается качество сна ночью.

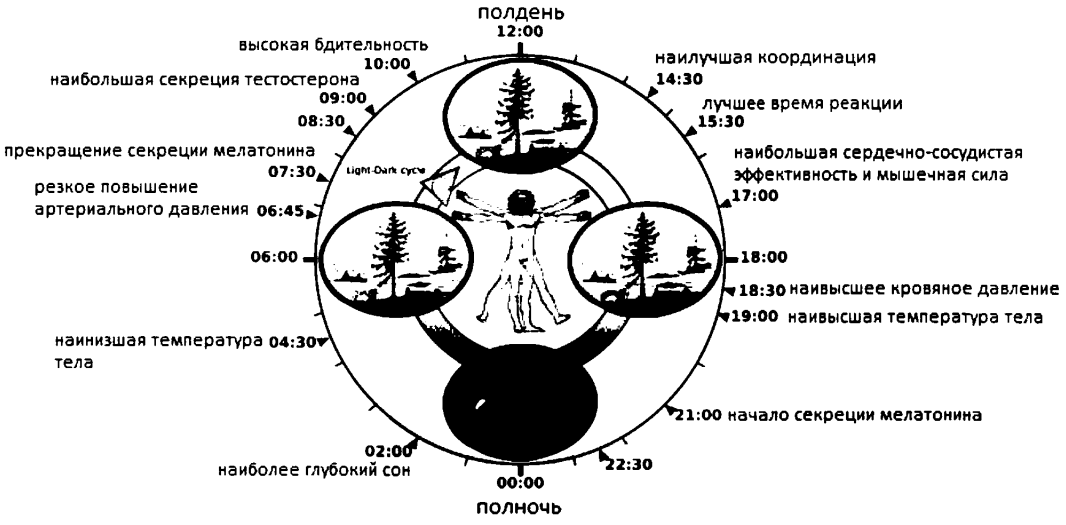


***Рисунок 7.2* – Циркадная периодичность некоторых физиологических процессов человека**

Концепция HCL является развитием технологии УОБС и подразумевает одновременное воздействие на человека КЦТ и уровня освещенности. Для достижения биологического эффекта необходимо воздействие вертикальной освещенности на глаз наблюдателя порядка 200–250 лк, что соответствует освещенности 800–1000 лк на рабочем месте.

Кроме того, необходимо учитывать, что перечисленные ниже факторы способствуют увеличению биологического воздействия света:

- высокая освещенность;
- высокая КЦТ;
- большая длительность воздействия;

- динамическое изменение параметров освещения;

- низкая освещенность до начала воздействия системы HCL.

Также есть факторы, влияющие на биологическое воздействие отрицательно:

- низкая освещенность;

- малая длительность воздействия;

- низкая КЦТ;

- статическое освещение.

Эффективность биологического воздействия излучения в зависимости от КЦТ источника света рассмотрена в 8.2. Следует учитывать, что между источниками света разного типа (люминесцентные лампы, светодиоды, лампы накаливания) может быть разница, обусловленная характерными особенностями спектра излучения каждого типа источника света.

Применение концепции HCL направлено на достижение следующих эффектов [34]:

- стабилизация циркадных ритмов;

- улучшение концентрации, снижение количества ошибок в работе;

- увеличение работоспособности;

- увеличение устойчивости к стрессу;

- улучшение настроения, снижение влияния сезонных влияний;

- укрепление иммунитета.

Эффективность применения системы HCL обусловлена тем, что люди/персонал от 70 % до 90 % своего времени проводят в помещении. Следовательно, они недополучают естественное освещение для синхронизации биоритмов. Особенно важно применение системы в осенне-зимний период, когда уровень естественной освещенности и продолжительность светового дня недостаточны и способствуют развитию сезонных депрессий и расстройств.

7.3.2 Аспекты, учитываемые в качестве обоснования при выборе той или иной концепции/технологии управления цветом в ОУ

Управление КЦТ и освещенностью происходит одновременно автоматически на основании специально разработанного сценария. При разработке сценариев освещения необходимо учитывать следующие правила:

- для повышения работоспособности и концентрации внимания необходимо повышение КЦТ и освещенности;

- для создания условий для отдыха необходимо снижение КЦТ и освещенности;

- не допускается использование излучения с высокой КЦТ и высокой освещенностью за 2 ч до сна или в период начала секреции мелатонина (с 21:00 до 23:00).

Системы HCL могут быть построены по двум принципам: повторение воздействия солнца или создание требуемой рабочей динамики.

Сценарии, повторяющие параметры естественного освещения должны учитывать естественное изменение параметров КЦТ и освещенности в течение дня в конкретном регионе, а также сезонное изменение параметров. Пример сценария показан на рисунке 7.3.

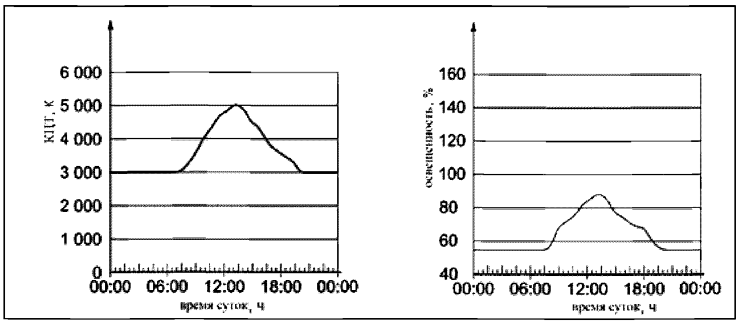


***Рисунок 7.3* – Пример сценария, повторяющего естественную освещенность, показанную в процентном соотношении от максимума**

Сценарий HCL для создания требуемой рабочей динамики на основании вышесказанного, а также учитывая трудовой распорядок объекта. Пример сценария HCL для офисной работы приведен на рисунке 7.4.

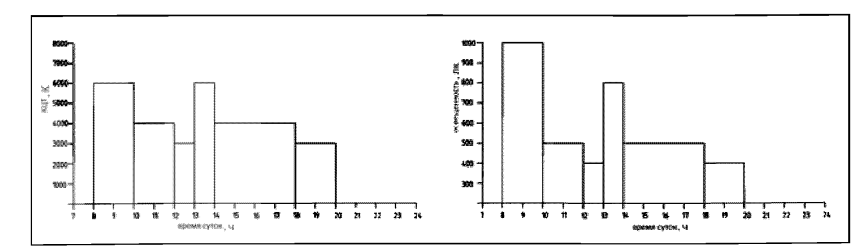


***Рисунок 7.4* – Пример сценария HCL для офиса (освещенность указана для рабочего места)**

Сценарий построен исходя из следующих временных отрезков:

- 8:00–10:00 – начало рабочего дня: 1000 лк при 6000 К – происходит активация сотрудников, подавление мелатонина, синхронизация циркадного ритма;

- 10:00–12:00 – обычный рабочий период: 500 лк при 4000 К – комфортная для работы обстановка, позволяющая сохранить высокий уровень концентрации внимания;

- 12:00–13:00 – обеденный перерыв: 400 лк при 3000 К – время для обеда и отдыха;

- 13:00–14:00 – активизация после обеденного перерыва: 800 лк при 6000 К – позволяет сконцентрировать внимание и настроиться на работу;

- 14:00–18:00 – рабочий период: 500 лк при 4000 К – комфортная для работы обстановка, позволяющая сохранить высокий уровень концентрации внимания;

- 18:00–20:00 – окончание рабочего дня: 400 лк при 3000 К – снижение освещенности и КЦТ сигнализирует, что рабочий день закончен, сотрудники могут закончить свои дела и собраться домой.

При разработке сценария HCL должны быть учтены рекомендации и ограничения по КЦТ для помещений конкретных типов. При невозможности использования источников света с высокой КЦТ рекомендуется использовать максимально допустимую КЦТ с увеличением длительности утреннего и послеобеденного активирующих пиков.

Системы HCL следует применять в помещениях с постоянным пребыванием людей. Однако помещения с временным пребыванием людей, такие как коридоры, могут оснащаться схожими системами, изменяющими свои параметры синхронно с освещением в рабочих кабинетах. Это позволит снизить разницу в параметрах освещения между кабинетом и коридором и исключить длительный процесс адаптации при перемещении человека из одного помещения в другое [35].

Если на объекте происходит сменная работа, системы HCL не следует применять для работников ночной смены по причине недостаточной изученности вопроса.

Системы HCL рекомендуется оснащать системами диммирования на основе датчиков освещенности, отслеживающих изменение уровня естественной освещенности. Это снизит энергопотребление системы.

Энергоэффективность системы HCL должна оцениваться по годовому потреблению электроэнергии в соответствии с ГОСТ 32498 и по эффективности воздействия на функциональные задачи в соответствии с разделом 8.

Сравнение энергетической эффективности системы HCL со статическими системами должно проводиться по удельной мощности на освещение при рабочем режиме (в рассмотренном случае это 500 лк при 4000 К).

Повышенное энергопотребление во время активирующего пика освещенности частично компенсируется эффектом увеличения эффективности светодиодов с высокой КЦТ. Тот факт, что ОУ с HCL работает на полную мощность всего несколько часов в день, ведет к существенному увеличению срока службы системы, поскольку все остальное время светодиоды работают при невысоких уровнях возбуждения.

Внедрение систем HCL позволяет получить непрямой экономический эффект за счет снижения количества ошибок сотрудников, повышения их работоспособности и снижения количества больничных [32].

Во всех режимах ОУ должны выполняться установленные для конкретного помещения нормы освещенности. В отдельных случаях, когда в обеденный перерыв в помещении не проводятся работы и время обеденного перерыва четко регламентировано, допускается временная классификация помещения как комнаты отдыха с соответствующим

снижением освещенности, что позволит увеличить экономию электроэнергии.

7.3.3 Особенности проектирования динамического освещения для работ, выполняемых в одну смену в помещениях без естественного света

Для решения задачи по освещению помещения без естественного света при односменной работе рекомендуется использовать концепцию HCL, направленную на поддержание естественных циркадных ритмов персонала. В общем случае за основу берется изменение естественной освещенности в летний и зимний период в заданной местности (рисунок 7.5) [36]. Динамика искусственного освещения помещения при реализации в нем концепции HCL качественно воспроизводит данную зависимость.

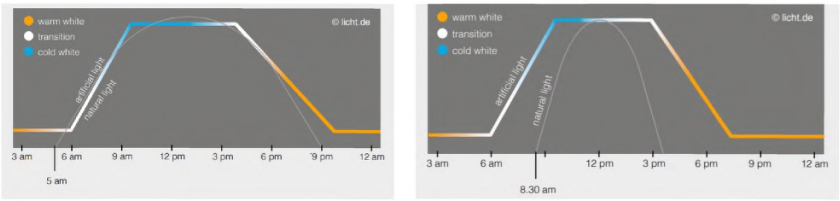


***Рисунок 7.5* – Пример корреляции параметров естественного и искусственного освещения в помещении в летний и зимний периоды**

На рисунке 7.6 показан сценарий, учитывающий ежедневную цикличность естественного освещения и цикличность видов деятельности персонала в помещении в течение рабочего дня.

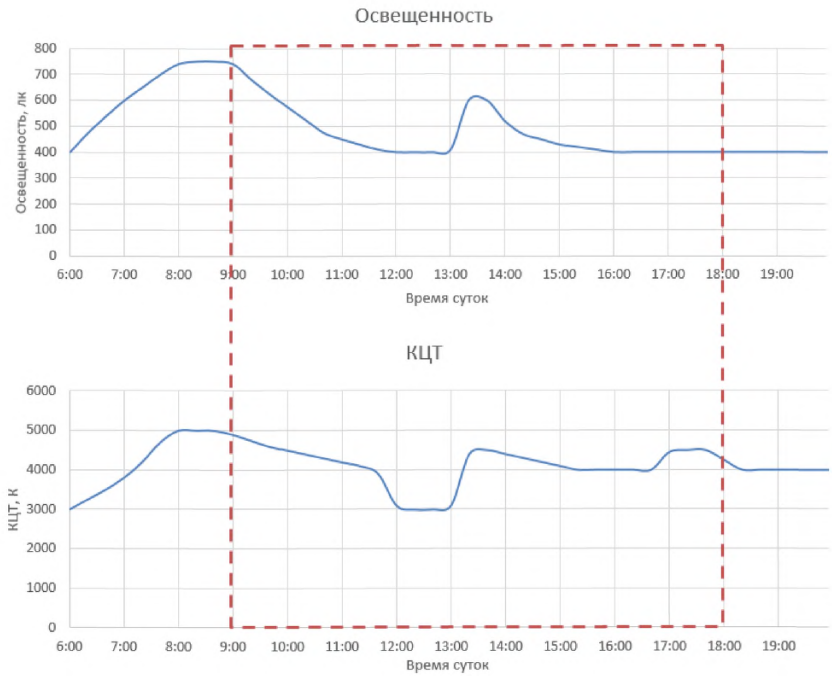


***Рисунок 7.6* – Пример сценария для помещения с отсутствием естественного света (освещенность указана для рабочего места)**

Представленный на рисунке 7.6 сценарий создан на основе сценария, показанного на рисунке 7.4, с корректировками применительно к конкретной сцене, а именно: пиковая освещенность снижена до 750 лк, чтобы не вызывать возможного зрительного дискомфорта у персонала, связанного с избыточной яркостью ОП при отсутствии естественного освещения. Также в сценарии использовано плавное изменение освещенности и КЦТ ОП, поскольку в условиях отсутствия естественного освещения ступенчатое изменение параметров освещения может вызывать дискомфорт у персонала.

Для того чтобы максимально отразить динамику изменения параметров освещения на рисунке 7.5 показано время суток с 6:00 до 20:00. Этот временной диапазон гарантированно перекрывает рабочий день в случае односменной работы. Однако на разных предприятиях или в разных отделах одного предприятия рабочий день может начинаться и заканчиваться в разное время. В этом случае время создания оптимальных условий световой среды для активации сотрудников (см. 7.3.2) – пик освещенности и максимальное значение КЦТ во всех вариантах сценария – должны приходиться на одно и то же время суток: ориентировочно с 8:00 до 9:00 утра, что необходимо для синхронизации циркадных ритмов персонала. В условиях отсутствия естественного света фактор синхронизации циркадных ритмов становится еще более важным.

Поскольку пик освещенности и КЦТ должен приходиться на одно время суток независимо от начала рабочего дня, то в различных ситуациях может быть использован один сценарий с учетом следующего изменения: при исполнении сценария АСУО должна ориентироваться на астрономическое время, а не на время от начала работы системы. При этом на конкретном предприятии или в конкретном помещении используется та часть сценария, которая соответствует рабочему распорядку в данном помещении. На рисунке 7.5 пунктирной линией для примера показан случай рабочего дня с 9:00 до 18:00: 8 ч рабочего времени и 1 ч – обеденный перерыв.

Предложенный вариант сценария рассчитан на офисный тип помещения с нормированной освещенностью 400 лк. При необходимости сценарий может быть модифицирован на другую норму освещенности. Также может быть изменена максимальная КЦТ системы освещения. Если в помещении нет выраженного времени отдыха (обеденного перерыва), то может отсутствовать снижение КЦТ, обозначающее время отдыха (обеденного перерыва) (на рисунке 7.5 – с 12:00 до 13:00).

При внесении изменений в сценарий не должно изменяться положение пика освещенности и КЦТ во времени.

Современные исследования показывают, что подобные системы освещения могут эффективно применяться как в офисных помещениях, так и в помещениях промышленного назначения ([36], [37]).

8 Способы учета спектрального состава искусственного освещения

8.1 Концепция HCL

8.1.1 Концепция HCL предполагает целостное планирование и реализацию визуального, эмоционального и особенно биологического воздействия света на психофизическое состояние человека: его здоровье, благополучие и производительность. Схематично взаимосвязь составляющих концепции HCL показана на рисунке 8.1 [36]. Визуальный и не визуальный компоненты воздействия света определяют эмоциональную составляющую (рисунок 8.2) [37] и формируют общее ощущение световой среды.

Концепция HCL может входить в общую систему управления освещением.

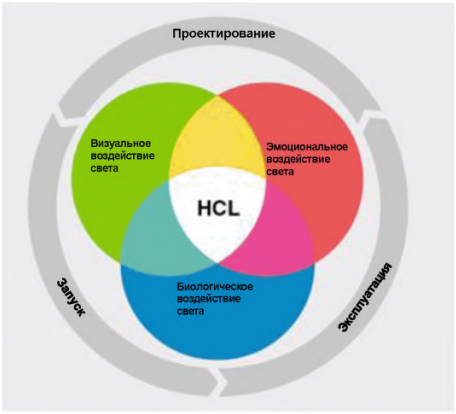


Рисунок 8.1 **– Составляющие концепции HCL**

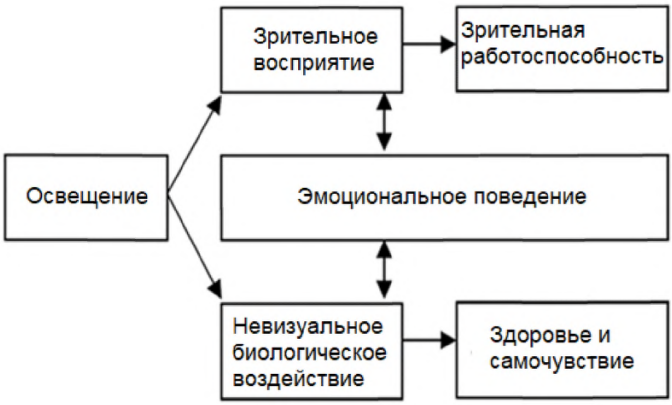


Рисунок 8.2 **– Структура реакции человека на освещение**

8.1.2 Визуальное воздействие

Визуальное воздействие света – наиболее освоенная на практике составляющая концепции HCL. Требования обеспечения нормированных параметров световой среды в различных помещениях и для наружных

объектов – освещенности на рабочем месте, ее равномерности, цветности освещения, качества цветопередачи – изложены в СП 52.13330; ГОСТ Р 55710; ГОСТ Р 55706 и др.

Целью проектирования и эксплуатации ОУ всегда является обеспечение оптимальных визуальных условий для персонала. В связи с этим для выполнения критерия визуального воздействия концепции HCL на практике в первую очередь следует руководствоваться актуальными нормативными правовыми документами, действующими на национальном уровне.

8.1.3 Эмоциональное воздействие

Аспекты эмоционального воздействия света широко применялись человеком на протяжении всего исторического периода. В архитектуре, живописи, при организации массовых зрелищных мероприятий, в кино и на телевидении умелое использование световых эффектов вызывает сильный эмоциональный эффект у наблюдателя. Вариации цвета и яркости, их сочетания создают определенные впечатления и управляют настроением [38]. Вместе с тем, в этой области практически отсутствуют правила и нормы. В профессиональных сообществах существуют критерии создания эмоционально-благополучной световой среды, базирующиеся на архитектурных, функциональных, дизайнерских, эстетико-психологических предпочтениях и ожиданиях. В области эмоций сложно создать общие правила управления, однако учитывать этот фактор при проектировании световой среды необходимо на уровне квалифицированной разработки дизайна проекта. Работа должна проводиться с учетом функционального назначения, локализации объекта, архитектурного решения, особенностей пользователей, средств освещения и т. д.

8.1.4 Невизуальное воздействие

Эффект невизуального воздействия света на человека получил дополнительное обоснование после серии открытий в области физиологии глаза в конце XX века, включающих понимание функционирования третьего типа (помимо известных уже в течение 200 лет палочек и колбочек) светочувствительных клеток сетчатки глаза – ганглионарных (нервных) клеток типа ipRGC. Данные клетки содержат светочувствительный пигмент меланопсин. Они напрямую возбуждаются под действием света, обеспечивая световое управление циркадными ритмами, а также по отдельному нервному пути, обеспечивают реакцию сужения зрачка на свет.

В настоящее время не визуальное биологическое воздействие света становится фактором планирования благополучия при проектировании и эксплуатации современных ОУ.

Прежде всего, не визуальное биологическое воздействие световой среды заключается в формировании циркадных ритмов.

При рациональном применении приемов управления искусственным светом возможно поддержать производительность труда в течение рабочего дня и улучшить качество сна ночью, на заданный короткий период повысить внимание и бдительность, избежать неблагоприятных биологических эффектов, вызванных неправильным освещением.

8.2 Количественная оценка биологического воздействия света по циркадной эффективности

Люди воспринимают свет и цвет, так как фоторецепторы сетчатки глаза поглощают свет и преобразуют его в нервные импульсы [40], [41]. Фоторецепторы участвуют в формировании нейроэндокринных,

нейроповеденческих и циркадных реакций на свет. На рисунке 8.3, а, [42], схематично изображены фоторецепторы сетчатки: колбочки (красные, зеленые и синие) и палочки (серые), отвечающие за формирование изображения, а также ганглиозные клетки ipRGC, отвечающие за не визуальные реакции, передающие сигнал в мозг.

На рисунке 8.3, б, [42], показано, что фоторецепторы делятся на пять разных по спектральной чувствительности типов: R-палочки с максимумом чувствительности на 496 нм, S-колбочки – с максимумом чувствительности на 419 нм, M – колбочки с максимумом на 531 нм, L-колбочки с максимумом на 558 нм и меланопсин – фотопигмент ipRGC клеток с максимумом чувствительности 480 нм.

Сигнал, сформированный на основе импульсов всех фоторецепторов, передается в мозг для визуализации и регулировки физиологических функций.

Меланопсин отвечает за коррекцию невизуальных функций, таких как биологические часы, выделение мелатонина и другие. В результате интенсивность и спектр света, воспринимаемого глазом, влияют на циркадный ритм, секрецию гормонов и внешнее поведение человека.

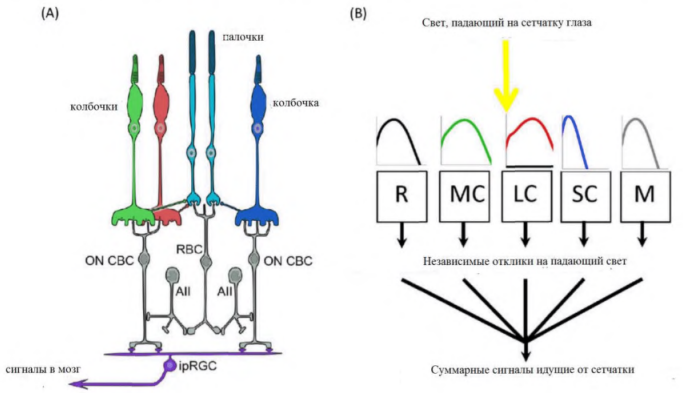


***Рисунок 8.3* – Фоторецепторы и их расположение в сетчатке**

Для количественной оценки воздействия света требуется знание спектральной чувствительности приемников по каждому каналу. Для оценки визуального воздействия света на практике используют освещенность, измеряемую в люксах. По аналогии с данной величиной в техническом докладе CIE TN 003:2015 [43] предложено использовать эквивалентные единицы: Cyanopic (E_{sc}), Chloropic (E_{mc}), Erythropic (E_{lc}), Rhodopic (E_r), Melanopic (E_z) для оценки воздействия по каждому каналу согласно таблице 8.1.

Таблица 8.1

Описание фоторецепторов сетчатки глаза			
Символ	Эквивалентные единицы	Фотопигмент	Длина волны максимальной чувствительности, нм
E_{sc}	Cyanopic	S cone	419,0
E_z	Melanopic	Melanopsin	480,0
E_r	Rhodopic	Rod	496,3
E_{mc}	Chloropic	M cone	530,8
E_{lc}	Erythropic	L cone	558,4

Меланопический эквивалентный люкс E_z или EML – мера света, используемая для количественной оценки меланопического фактора, то есть того, насколько эффективно источник света будет стимулировать реакцию меланопсина. Зона спектральной меланопической чувствительности глаза расположена в сине-зеленой части видимого спектра (рисунок 8.4). Меланопическая кривая чувствительности на этом рисунке нормализована по площади под кривой, чтобы получить линейную связь между люксами визуальной освещенности (лк) и меланопическими эквивалентными люксами (EML) [43]. Соответственно, справедлива формула:

$$\text{EML} = \text{фотопическая освещенность лк} \times K_{EML}, \qquad (8.1)$$

где K_{EML} – коэффициент пропорциональности (меланопическое соотношение).

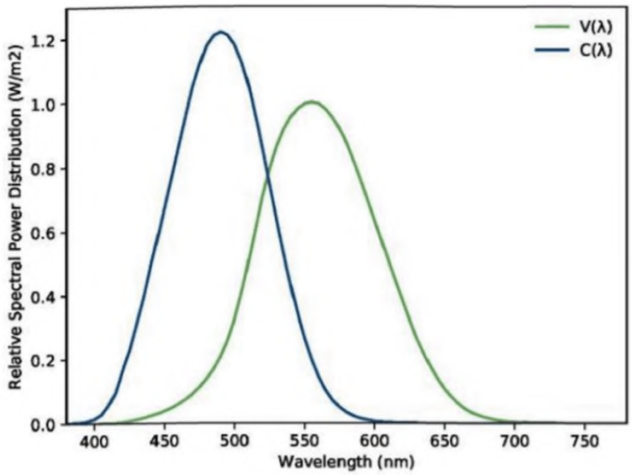


***Рисунок 8.4* – Спектральные функции чувствительности глаза человека – фотопическая V(λ) и меланопическая C(λ)**

Для стандартного источника дневного цвета типа D65, предназначенного для представления среднего значения дневного света с КЦТ около 6500 K [44] меланопическое соотношение K_{EML} составляет 1.1. При этом, например, 226 лк соответствуют 250 EML, 182 лк соответствуют 200 EML.

На рисунке 8.5 [45] показаны значения меланопического соотношения для различных значений КЦТ дневного света и линейная аппроксимация зависимости.

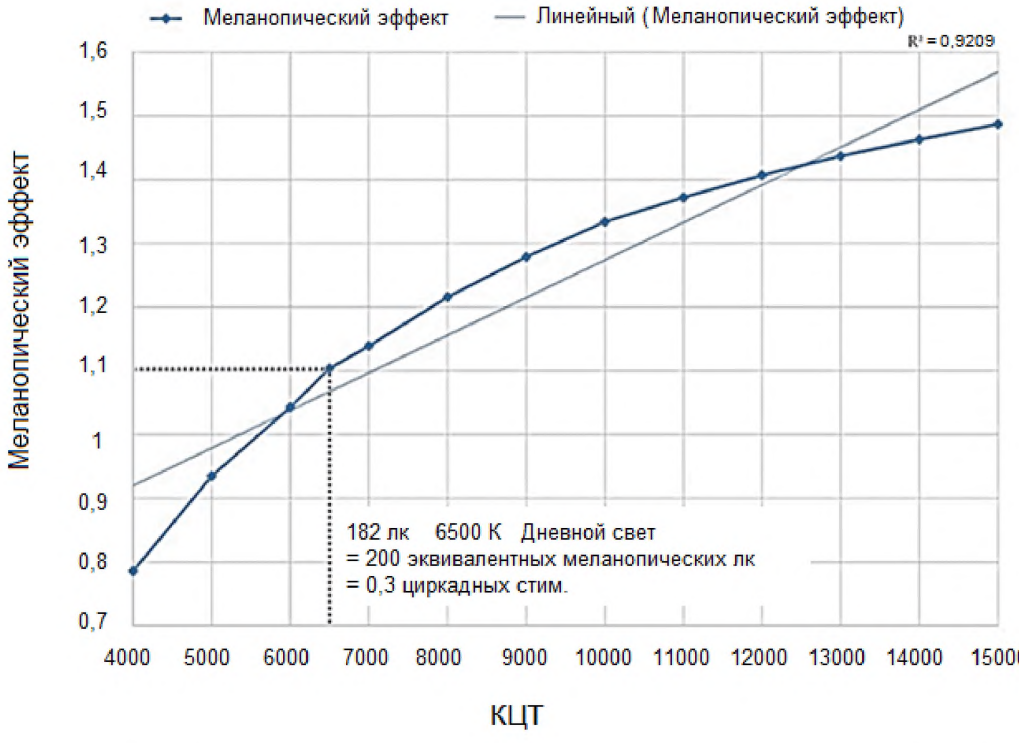


***Рисунок 8.5* – Зависимость меланопического соотношения (K_{EML}) от КЦТ дневного света**

В таблице 8.2 приведены значения меланопического соотношения (KEML) для различных источников света.

Таблица 8.2

КЦТ, К	Источник света	K_{EML}
2950	Люминесцентная лампа	0,43
2700	Светодиод	0,45
2800	Лампа накаливания	0,54
4000	Люминесцентная лампа	0,58
4000	Светодиод	0,76
5450	Источник МКО белого цвета E	1,00
6500	Люминесцентная лампа	1,02
6500	Дневной свет	1,10
7500	Люминесцентная лампа	1,11

8.3 Критерии невизуального воздействия света при проектировании искусственного освещения. WELL стандарт

Нормируемые критерии невизуального воздействия света впервые введены в практику в рамках внедрения системы оценки качества зданий в США – WELL Building Standard™ [46]. В основе концепции WELL стандарта лежит принцип создания здорового пространства внутри зданий и сооружений. В разделе освещения концепция WELL Light направлена на создание условий освещения, оптимальных для визуального, психического и биологического здоровья.

Выполнение критериев WELL Light стандарта в разделе проекта «Дизайн циркадного освещения» обеспечивает снижение нарушений циркадной фазы, улучшение качества сна и положительно влияет на эмоциональное состояние и продуктивность.

В соответствии со стандартом [46] для всех помещений с персоналом предусматривается обеспечение уровней вертикальной освещенности, обеспечиваемой при искусственном или совмещенном освещении на площади, превышающей 75 % общей (таблица 8.3). Уровни вертикальной освещенности должны достигаться, как минимум, между 9:00 утра и 13:00 дня, на высоте 1,4 м над полом (таблица 8.3).

Для рабочих мест требуемая вертикальная освещенность должна достигаться на уровне 45 см от рабочей поверхности.

Таблица 8.3

Вертикальная освещенность (EML), не менее		
Искусственное освещение	Совмещенное освещение	Уровень
150 (136 EML для D65)	120 (109 EML для D65)	Хорошо
240 (218 EML для D65)	180 (163 EML для D65)	Очень хорошо

На практике следует учитывать, что для разных источников света соотношения величин визуальной и меланопической эквивалентной освещенности будут различны. В качестве примера на диаграмме

(рисунок 8.6) [47] наглядно показаны эквивалентные уровни вертикальной освещенности для типичных источников света для двух фиксированных значений уровней EML - 150 и 200 единиц.

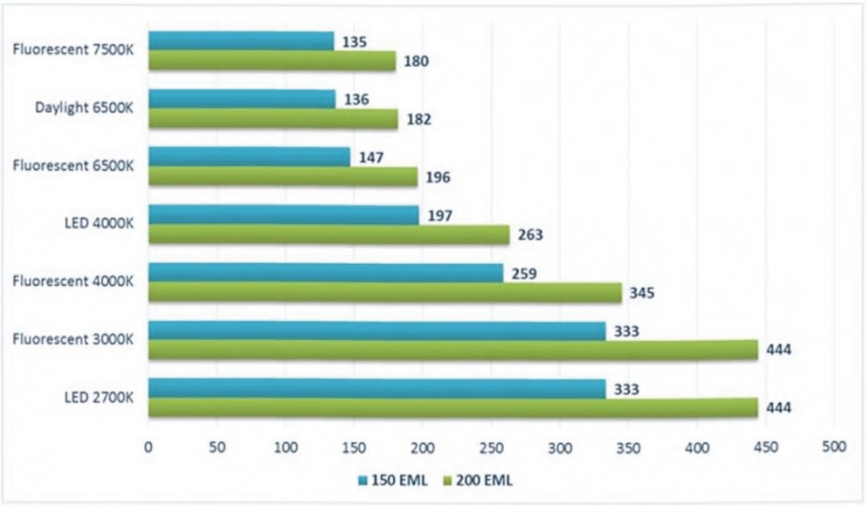


***Рисунок 8.6* – Диаграмма эквивалентных уровней вертикальной освещенности (лк) типичных источников света для EML = 150 и EML = 200.**

В заключение следует заметить, что при выполнении требований WELL стандарта в части дизайна циркадного освещения вместо вертикальной освещенности возможно использовать величину цилиндрической освещенности.

9 Оценка эффективности динамического освещения

9.1 Функциональное назначение осветительных установок с динамически изменяемыми характеристиками

9.1.1 Функциональное назначение ОУ с динамическими изменениями светового потока и цветовых характеристик определяется

содержанием решаемой задачи или группы таких задач.

Каждая группа задач может решаться отдельно или в комбинации с другими, дополнительно обеспечивая, например, экономию потребляемой энергии, повышение визуального комфорта и др. В разделах 9.1.2–9.1.5 рассмотрены четыре группы задач.

9.1.2 Группа I

Обеспечение требуемых визуальных параметров освещенности в зависимости от пространственной и временно́й локализации зон активности персонала:

- обеспечение нормативных значений нормируемых параметров при реализации совмещенного освещения в помещениях;
- обеспечение рациональных уровней освещенности в помещениях и пространствах с временным отсутствием персонала;
- обеспечение концепции зонального распределения параметров световой среды в зависимости от изменяющейся активности и освещенности внутри помещения.

9.1.3 Группа II

Обеспечение эффективности основных процессов в офисах и образовательных организациях, на торговых объектах, в медицинских организациях и культурно-зрелищных учреждениях:

- повышение производительности офисных работников;
- повышение усвояемости материала, снижение количества ошибок при обучении;
- увеличение покупательской активности в торговых центрах;
- повышение эффективности реабилитационного процесса в медицинских организациях;
- повышение посещаемости культурно-зрелищных учреждений.

9.1.4 Группа III

Оптимизация световой среды для улучшения самочувствия и производительности персонала, а также достижения целесообразной синхронизации с естественной световой обстановкой:

- биологические эффекты: повышение концентрации внимания, усиление творческих способностей и обучаемости, увеличение производительности, обеспечение полноценного отдыха и сна;
- психологические эффекты: улучшение самочувствия, позитивное настроение, ускоренная реабилитация, состояние комфорта.

9.1.5 Группы IV

Экономия электроэнергии и повышение комфорта:

- снижение количества потребляемой электроэнергии для целей освещения;
- уменьшение показателя дискомфорта, обеспечение равномерности освещения, достижение оптимальной цветности излучения.

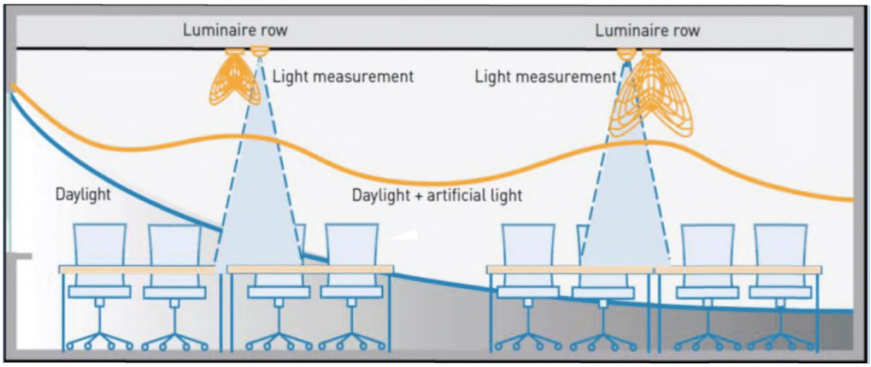
9.2 Способы оценки эффективности применения динамического освещения для обеспечения требуемых визуальных параметров освещенности

9.2.1 Обеспечение нормативных значений нормируемых параметров при реализации совмещенного освещения в помещениях

Совмещенное освещение согласно СП 52.13330 определяется как освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным в течение полного рабочего дня. При этом уровень естественного освещения изменяется в течение

светового дня. Соответственно изменяется и доля искусственного света, необходимого для его дополнения.

Для реализации адаптивного варианта ОУ в помещении с совмещенным освещением следует использовать локальные датчики освещенности рабочих мест. Управляющий сигнал датчиков освещенности синхронизирует изменение световых потоков светильников, компенсируя недостаток естественного света на рабочих местах, как показано на рисунке 9.1 [48]. В результате в течение рабочего периода обеспечивается выполнение нормируемых значений освещенности путем динамического изменения светового потока светильников.



[KA1]

***Рисунок 9.1* – Схематичное распределение уровней естественной и искусственной освещенностей в помещении**

В качестве критерия эффективности применения динамического освещения в данном случае следует использовать показатель снижения потребления электроэнергии ОУ (K_{DE}) по сравнению с установкой с постоянным световым потоком:

$$K_{DE} = (S_{con} - S_{var}) / S_{con} \cdot 100\ \%, \qquad (9.1)$$

где S_{con} – количество электроэнергии, потребляемой ОУ, включенной на полную мощность, в течение рассматриваемого периода времени, кВт·ч;

S_{var} – количество электроэнергии, потребляемой ОУ с динамически изменяемым световым потоком в течение рассматриваемого периода времени, кВт·ч.

9.2.2 Обеспечение рациональных уровней освещенности в помещениях и пространствах с временным отсутствием персонала

Динамическое освещение, реализованное в помещениях, где персонал находится временно, например коридоры, проходы и т. п., должно решать задачу создания комфортного освещения во время присутствия людей и снижения его до целесообразного уровня при их отсутствии.

На рисунке 9.2 приведена временная схема изменения светового потока светильника в коридоре помещения в зависимости от присутствия людей [49].

До появления человека в зоне расположения датчика присутствия свет был выключен или находился в «дежурном режиме». В момент появления человека (начало фазы 1) происходит плавное включение светильника и в течение фазы 1 увеличение интенсивности до уровня «5». В течение времени нахождения людей в рабочей зоне поддерживается освещенность, соответствующая уровню «5», – нормированное значение для объекта. В момент, когда люди покидают рабочую зону, по сигналу датчика (фаза 2) и после некоторой задержки поток светильников начинает плавно снижаться (фаза 3). К концу фазы 3 освещенность достигает определенного уровня (фаза 4), являющегося «дежурным режимом», продолжительность которого может быть установлена программным образом.

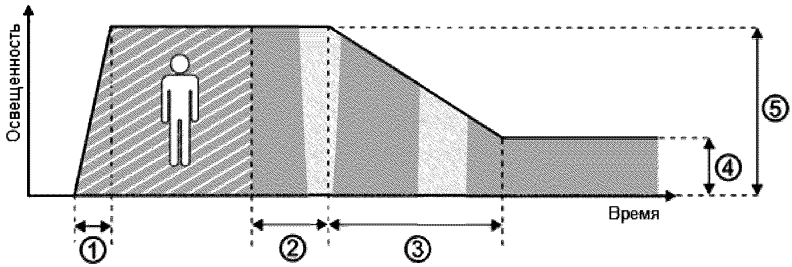


***Рисунок 9.2* – Диаграмма изменения освещенности при реализации динамического режима освещения в коридоре**

В этом и подобных случаях возможны произвольные установки алгоритма изменения уровня освещенности, создающие комфортные условия для персонала и не противоречащие действующим нормативам.

В качестве критерия эффективности применения динамического освещения в данном случае также следует использовать показатель снижения потребления электроэнергии ОУ (K_{DE}) по сравнению с установкой с постоянным световым потоком, определяемый по формуле (9.1).

9.2.3 Обеспечение концепции зонального распределения параметров световой среды в зависимости от изменяющейся активности и освещенности внутри помещения

Динамическое освещение, реализованное в помещениях, где происходят перемещения зон активности и одновременное изменение фоновой освещенности, требует учета двух параметров одновременно. Основной целью при этом остается обеспечение нормируемых значений освещенности. Этот случай является комбинацией рассмотренных выше случаев 9.2.1 и 9.2.2.

Для решения задачи применяются комбинированные датчики освещенности и присутствия, работающие одновременно, показанные на рисунке 9.3 [50].



***Рисунок 9.3* – Динамическое управление по сигналам датчиков присутствия и освещенности**

Данные решения находят практическое отражение в стандартах, например, ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016 [51] (рисунок 9.4).

В качестве критерия эффективности применения динамического освещения в данном случае также следует использовать показатель снижение потребления электроэнергии ОУ (K_{DE}) по сравнению с установкой с постоянным световым потоком, определяемый по формуле (9.1).

а [KA2]*б*

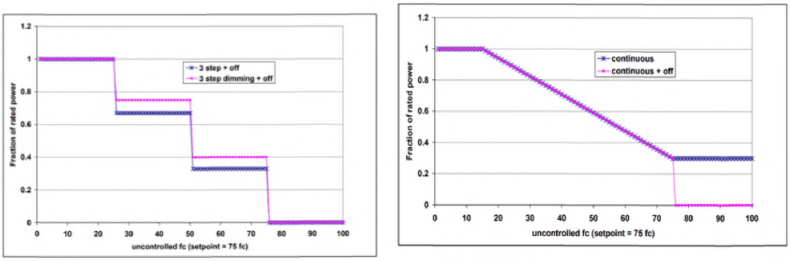


***Рисунок 9.4* – Зависимости динамического снижения мощности (дискретного (а) и плавного (б)) на объекте при автоматической регулировке светового потока светильников в зависимости от присутствия персонала и естественной освещенности**

9.3 Способы оценки эффективности применения динамически изменяемого света в различных областях применения искусственного освещения

9.3.1 Оценка эффективности динамического освещения в офисах

Внедрение динамического освещения в современные офисные пространства существенно изменяет рабочую атмосферу, стимулируя настроение, поведение и уровень энергии персонала. В данном случае свет поддерживает эффективность сотрудников, их умение концентрироваться, создает комфортные условия [52]. Целесообразное сочетание аспектов визуального и невизуального воздействия света является частью требований к современным офисным помещениям [41], [53].

В стандарте ASHRAE [51] приведен ряд критериев оценки качества офисного пространства и условий труда по показателям эффективности персонала:

- отсутствие на работе;
- расходы на здравоохранение, включая отпуск по болезни, несчастные случаи и травмы;
- перерывы в работе;
- самооценка производительности;
- скорость и точность работы;
- время цикла от начала до завершения процесса;
- визуальные измерения производительности, здоровья и благополучия на работе.

В [54] рассмотрены такие психофизиологические характеристики, как частота возникновения необходимости восстанавливать силы от усталости и стресса в процессе выполнения работы, оценка состояния по ощущению энергичности, настороженности, головная боль, напряжение глаз, качество сна, успеваемость, удовлетворенность. Были приняты во внимание и субъективные оценки, например, отношение к выполняемой работе и рабочей среде.

В [55] указаны результаты исследований применения динамического освещения в офисе по следующим критериям: повышение производительности труда (19 %); снижение усталости (27 %); улучшение способности к концентрации (37 %); повышение бдительности (23 %).

В [55] определен интегральный критерий эффективности применения динамического освещения в офисе, легко оцениваемый экономически. Это снижение дней невыхода сотрудников офиса на работу за рассматриваемый период после перехода на систему освещения с динамической регулировкой. Количественную оценку в данном случае проводят по формуле

$$K_{wd} = (D_l - D_d)/D_l, \qquad (9.2)$$

где D_l – доля невыходов на работу, % числа сотрудников офиса за отчетный период при традиционном освещении;

D_d – доля невыходов на работу, % числа сотрудников офиса за отчетный период после перехода на систему освещения с динамической регулировкой.

9.3.2 Критерии оценки эффективности динамического освещения в розничной торговле

Освещение в розничной торговле является крайне важной составляющей, влияющей на восприятие покупателя и эмоциональную оценку товара. Привлекательная торговая среда поднимает границу приемлемой стоимости и укрепляет намерение покупки, существенно влияя на рентабельность розничного бизнеса. Неудивительно, что на освещение расходуется около трети всей электроэнергии, потребляемой современным магазином, как показано на рисунке 9.5 [56].

Динамически управляемые ОУ представляют новый этап развития визуального представления продуктов в розничной торговле [57].

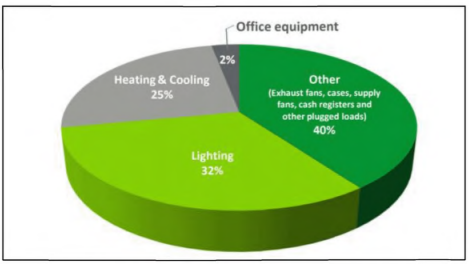


***Рисунок 9.5* – Основные назначения электроэнергии, расходуемой в непищевых магазинах**

При динамическом изменении светоцветовой картины в поле зрения покупателя возникает «эффект движения». На подсознательном уровне это сопровождается расширением визуального поля, воспринимаемого глазом, и инстинктивным перемещением линии зрения к «движущемуся объекту».

Изменения сценариев интенсивности освещения и оттенков белого света в течение дня способствуют дифференцированному восприятию и удовлетворению индивидуальных ожиданий в соответствии с полом, возрастом и типом характера покупателя ([58], [59]). В [60] описана программа изменения КЦТ и интенсивности освещения, разработанная таким образом, чтобы оказывать положительное влияние на персонал и клиентов, «активируя» их в течение дня, уменьшая дневную сонливость и «деактивируя» их вечером.



***Рисунок 9.6* – Концепция HCL для реализации в торговом центре**

Динамическое изменение освещения витрин позволяет обеспечить их привлекательность в течение дня (при ярком естественном свете) и в

ночное время, создавая эффекты «WOW эффект» (удивление) или «Stopping power», заставляющий остановиться у полки с товаром.

Критерием эффективности применения динамического освещения в розничной торговле является рост объема продаж с единицы торговой площади по сравнению с вариантом при обычном освещении. Коэффициент эффективности продаж по освещению K_s возможно оценить по формуле

$$K_s = (V_{dl} - V_{cl})/V_{cl} \cdot 100\ \%, \qquad (9.3)$$

где V_{dl} – выручка, деленная на 1 м^2 торговой площади за выбранный период при динамическом освещении, руб./м^2;

V_{cl} – выручка, деленная на 1 м^2 торговой площади за выбранный период при обычном освещении, руб./м^2.

9.3.3 Способ оценки эффективности динамического освещения в медицине

Практика применения систем динамического освещения в медицинских организациях основана на эффектах визуального и невизуального воздействия на пациентов и персонал клиники. Если для персонала эффект от применения концепции HCL выражается в синхронизации циркадных ритмов для обеспечения хорошего самочувствия и работоспособности в условиях сменной работы, то для пациентов воздействие динамически изменяемым светом может входить в состав немедикаментозных методов лечения.

Эффективность фототерапевтического воздействия подтверждена для целой группы заболеваний [1], [2], например, для лечения депрессий, расстройств сна и психических расстройств, как средство восстановления режима организма при смене часовых поясов и сменной работы. Исследуют позитивное воздействие при возрастной деменции и болезни Альцгеймера и Паркинсона. Кроме того, динамический свет позволяет

ускорить реабилитацию больных после прохождения основного курса лечения.

Во многих случаях положительный эффект может быть выражен сокращением времени пребывания больного в условиях стационара. В этом случае количественную оценку эффекта проводят по снижению числа койко-дней, проведенных больным при лечении в стационаре при применении динамически изменяемого света по сравнению с нормативами для конкретного заболевания.

Коэффициент эффективности применения динамически изменяемого света при лечении (K_{lt}), выраженный в процентах, в данном случае можно определить следующим образом:

$$K_{lt} = (D_{nl} - D_{lt})/D_{nl} \cdot 100\ \%, \qquad (9.4)$$

где D_{nl} – число койко-дней проведенных больным в стационаре без применения динамически изменяемого света;

D_{lt} – число койко-дней проведенных больным в стационаре с применением динамически изменяемого света.

9.3.4 Способ оценки эффективности применения динамического освещения в культурно-зрелищных учреждениях, музеях, на объектах культуры

Светодиодное освещение эффективно используется в культурно-зрелищных учреждениях в целях организации пространства, обеспечения выразительного светодизайна, эффектной световой среды в помещениях.

В музеях и прочих объектах культуры искусственное освещение должно способствовать реализации основных функций: сохранение произведений искусства и иных объектов и представление их посетителям [63].

Основные функции динамического освещения на данных объектах заключаются в обеспечении:

- светоцветовой среды, адаптирующейся к виду активности, составу экспозиции, окружающих условий в помещениях культурно-зрелищных учреждений и обеспечивающей нормативные показатели общего освещения;

- эффективного представления экспонатов с учетом их индивидуальных свойств и концепции выставки, акцентирования внимания посетителей к объекту;

- сохранности объектов на основе нормирования предельной годичной экспозиции;

- экономии электроэнергии на цели освещения.

За интегральную оценку эффективности применения динамического освещения по сравнению с традиционными вариантами возможно принять коэффициент V_m изменения посещаемости учреждений культуры за год после внедрения динамического освещения:

$$V_m = (P_{dl} - P_{nt}) / P_{nt} \cdot 100\ \%, \qquad (9.5)$$

где P_{nt} – посещаемость объекта без применения динамически изменяемого света;

P_{dl} – посещаемость объекта с применением динамически изменяемого света.

Библиография

[1] Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs) // Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (SCHEER), 2017. – 84 p.

[2] Долин Е.В., Звездина И.В., Надеждин Д.С., Текшева Л.М., Шмаров И.А. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света. // Светотехника. – 2011. – № 1. – С. 48–52

[3] Текшева Л.М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах // Светотехника. – 2012. – № 5. – С. 16–22

[4] Кучма В.Р., Текшева А.М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. – М.: ФГБУ Научный центр здоровья детей РАМН. – 2013. – 246 с.

[5] ANSI E1.3 – 2001 (R2016) Entertainment Technology – Lighting Control Systems – 0 to 10 V Analog Control Specification

[6] ANSI E1.11 – 2008 (R2018) Entertainment Technology – USITT DMX512-A. Asynchronous Serial Digital Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories

[7] IEC 60929:2011 + AMD1:2015 CSV AC and/or DC-supplied electronic control gear for tubular fluorescent lamps – Performance requirements

[8] Юнович А.Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника. – 1996. – Вып. 5/6

[9] Светодиоды и их применение для освещения; под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга. / Московский Дом Света. – М.: Знак. – 2012. – 280 с.

[10] IEEE 802.15.7 Visible light communication: modulation schemes and dimming support. // IEEE Communications Magazine. – Vol. 50. – Issue: 3. – March 2012

[11] IESNA The Lighting Handbook, 9th, 10th Editions

[12] IEC 62386-217:2018 Digital addressable lighting interface – Part 217: Particular requirements for control gear – Thermal gear protection

[13] DSI Bus Standard Version 2.5 April. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru dsiconsortium.org/downloads/DSI_2.5_20090416.pdf

[14] ANSI E1.27-1–2006 (R2016) Entertainment Technology–Standard for Portable Control Cables for Use with ANSI E1.11 (DMX512-A) and USITT DMX512/1990 Products. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru /documents/docs/E1-27-1_2006R2016.pdf

[15] EN 12464-1:2011 Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places (Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 1. Рабочие места в помещениях)

[16] EN 12464-2:2014 Light and lighting – Lighting of work places – Part 2: Outdoor work places (Свет и освещение. Освещение рабочих мест. Часть 2. Рабочие места вне зданий)

[17] IEEE Std 1789™–2015 IEEE Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers. / The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA

[18] Ильянок В.А., Самсонова В.Г. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека // Светотехника. – 1963. – № 5. – С. 1–5

[19] Интернет-сайт компании LG Innotek gost.e-ecolog.ru product/productView.do?seq=198

[20] Интернет-сайт компании Lumileds gost.e-ecolog.ru /technology/ luxeon-technology/phosphor

[21] Интернет-сайт компании CREE SMD Full-Color gost.e-ecolog.ru com/led-components/products/smd-color/smd-full-color

[22] Информационный лист компании CREE gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru

[23] ANSI C78.377–2017 American National Standard for Electric Lamps – Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting (SSL) Products

[24] CALiPER report № 23 Photometric Testing of White-Tunable LED Luminaires. – Режим доступа: https://gost.e-ecolog.ru 2018/09/f55/caliper_23_white-tunable-led-luminaires_0.pdf

[25] Интернет-сайт компании «Световые Технологии». Каталог продукции. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

[26] Видеоролик на канале YOUTUBE. Биодинамическое освещение для учебного процесса. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru watch?v=WTvlLgUDu_4&t=53s

[27] Методическое пособие. Проектирование искусственного освещения общественных и жилых зданий. – М.: Минстрой России, ФАУ ФЦС. – 2016. – 141 с.

[28] Программа расчета искусственного освещения DIALux. – gost.e-ecolog.ru и dialux-help.ru

[29] Соловьев А.К. Физика среды. – М.: Издательство АСВ. – 2008. – 344 с.

[30] Программный комплекс «СИТИС:Солярис 8». – gost.e-ecolog.ru

[31] Постановление Правительства Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1356 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения»

[32] F. Patanial, A. Gagliano, F. Noceral, A. Galesi. The dynamic lighting technique in indoor architecture

[33] The Science of Sleep: A Brief Guide on How to Sleep Better Every Night. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

[34] Гвоздев С.М. Управление освещением для повышения комфортности светоцветовой среды и работоспособности человека – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

[35] DIN SPEC 67600 Biologically effective illumination – Design guidelines

[36] licht.wissen 21 – Guide to Human Centric Lighting (HCL). – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru – Guide__HCL_web.pdf

[37] Wout van Bommel. Dynamic lighting at work – both in level and colour. Ottawa: CIE, 2006

[38] Robert Davis. Lighting Psychology: Cognitive and Emotional Responses to Lighting gost.e-ecolog.ru _psychology_cognitive_and_emotional_responses_to_lighting

[39] Press release. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Fri. 26 Jul 2019. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru press-release/

[40] DIN SPEC 5031-100 Optical radiation physics and illuminating engineering – Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings – Quantities, symbols and action spectra

[41] . CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - Recommending Proper Light at the Proper Time, 2nd Edition, October 2019 http://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20Proper%20Light%20at%20the%20Proper%20Time%20(2019)_0.pdf

[42] Lucas R.J. Measuring and using light in the melanopsin age. Trends Neurosci. 2014 Jan – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru pmc/articles/PMC4699304/

[43] CIE TN003:2015 Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013

[44] Schanda, János (2007). "3. CIE Colorimetry". *Colorimetry: Understanding the CIE System*. Wiley. pp. 43, 44. – Режим доступа: doi:10.1002/9780470175637.ch3

[45] Martin Timothy Brennan, AIA, Alex Robert Collins. Outcome-Based Design for Circadian Lighting: An Integrated Approach to Simulation & Metrics.

– Режим доступа: https://gost.e-ecolog.ru Conferences/Specialty% 20Conferences/ 2018%20Building%20Performance%20Analy sis% 20Conference%20and%20SimBuild/Papers/C021.pdf

[46] gost.e-ecolog.ru

[47] Cosmin Ticleanu. How to design lighting to the WELL standard. Llux Review. 18 January 2018. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru 2018/01/how-to-design-lighting-to-the-well-standard

[48] The trilux lighting practice. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru en/lighting-practice/

[49] Сайт компании Tridonic: gost.e-ecolog.ru FUNCTION/animation/corridorFUNCTION_en.html

[50] Сайт компании Automated Logic: gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

[51] ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1–2016. Quality indoor

[52] Mariana G. Figueiro. Disruption of Circadian Rhythms by Light During Day and Night. // Curr Sleep Med Rep. 2017 Jun; 3 (2): 76–84.

[53] Knox, N. (2015, April 2). What is WELL? – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

[54] Первое заявочное исследование воздействия цветовой температуры освещения на организм человека. LUMEN & EXPERTUNION 12-13 ноябрь 2015 г.

[55] Human centric office. Office lighting solution. – Режим доступа: file:///D:/Users/karev/Downloads/HUMAN_CENTRIC_OFFICE_brochure_EN.pdf

[56] F. Patania. The dynamic lighting technique in indoor architecture. // WIT Transactions on the Built Environment, Vol 121, © 2011 WIT Press. – gost.e-ecolog.ru 121/22050

[57] Philips Lighting cracks code of shopper behavior proving how colored lighting boosts supermarket sales. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

com/en-in/our-company/news/press-release-archive/ 2017/20170307-philips-lighting-cracks-code-of-shopper-behavior-proving-how-colored-lighting-boosts-supermarket-sales

[58] Zumtobel Research. A study concerning the effectiveness of individual dynamic lighting parameters with respect to the perception and preference of customers in a shop. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

op_Window_Design.pdf

[59] Active Light in Presentation and Retail. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

n_retail.pdf

[60] Lux review. Human-centric lighting boosts supermarket sales by 28 %. – Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru

[61] Terman M., Terman J.S. Light Therapy for Seasonal and Nonseasonal Depression: Efficacy, Protocol, Safety, and Side Effects CNS Spectr. 2005 Aug;10 (8): 647-63; quiz 672. PMID 16041296 (Фототерапия сезонных и несезонных депрессий: протокол лечения, эффективность, безопасность, противопоказания и побочные эффекты. Журнал «Спектр ЦНС», 2005, 10(8):647-63)

[62] О.В. Бабкина, М.Г. Полуэктов, О.С. Левин Нарушение механизмов циркадианной регуляции при возрастзависимых нейродегенеративных заболеваниях. «ЭФФЕКТИВНАЯ ФАРМАКОТЕРАПИЯ. Неврология. Спецвыпуск «Сон и его расстройства – 5». 2017 (35)

[63] Богданов А.В., Смирнов В.А. Почему необходима ревизия норм экспозиционного освещения / Светотехника. – 2018. – Спецвыпуск №2 «Свет в музее». – С. 5–9

Полученные значения потребляемой мощности, полученные с шагом 1 ч, суммируют, что определяет потребление электроэнергии за один рабочий день. Для получения энергопотребления ОУ за месяц необходимо дневное энергопотребление умножить на число рабочих дней в месяце.

Результаты расчетов дневного энергопотребления для рассмотренного помещения показаны на рисунке 6.7.

Результаты расчетов энергопотребления в месяц для данного помещения показаны на рисунке 6.8. Рисунок 6.8 построен с учетом производственного календаря на 2019 год.

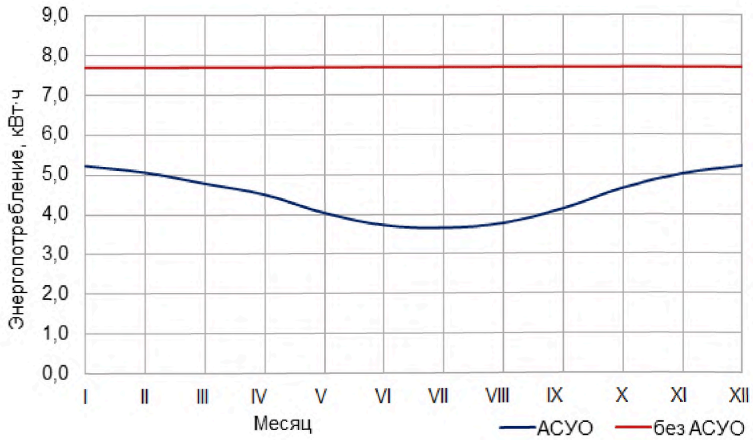


***Рисунок 6.7* – Дневное энергопотребление**

gost.e-ecolog.ru