

Музейное освещение основные параметры и их контроль

Руководство
(Методические рекомендации)



Санкт-Петербург
2024 г.

Музейное освещение: основные параметры и их контроль

Руководство
(Методические рекомендации)

Авторский коллектив:

Моржухин Даниил Евгеньевич,
ведущий инженер-светотехник Отдела главного энергетика
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»;
Исаев Александр Васильевич,
главный энергетик
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»;
Балахнина Екатерина Евгеньевна.

Научный редактор:

Богданов Алексей Валентинович,
к.т.н., доцент,
заместитель директора
ФГБУК «Государственный Эрмитаж».

Авторы выражают благодарность
Цейтлину Владиславу Владимировичу, Школьник Юлии Александровне
за помощь в разработке Методических рекомендаций.



**Санкт-Петербург
2024 г.**

Цель разработки настоящего Руководства (Методических рекомендаций) – содействие руководителям и иным должностным лицам музеев в решении задач и соблюдении процедур при выполнении обязательных требований Единых правил организации комплектования, учета, хранения и использования музейных предметов и музейных коллекций (утв. приказом Министерства культуры Российской Федерации от 27 июля 2020 года №827, далее – Единые правила).

Руководство (Методические рекомендации) подготовлено с учетом последних изменений в нормативно-правовых документах, касающихся вопросов музейного освещения, и носит рекомендательный характер. За невыполнение положений Руководства (Методических рекомендаций) меры административного воздействия не применяются.

Содержание

Введение	2	Раздел 9. Современные источники света для исторических светильников	41
Раздел 1. Основные задачи, решаемые при устройстве освещения экспозиции и архитектурной подсветки...4		Раздел 10. Естественное освещение: проблемы и решения.....	43
Раздел 2. Стандарты музейного освещения, действующие в Российской Федерации.....	6	Раздел 11. Нормируемые параметры.....	46
Раздел 3. Понятия и термины в области музейного освещения.....	8	11.1. Экспозиционное освещение	47
Раздел 4. Типы источников света в музейном освещении.....	12	11.2. Общее освещение помещений	47
Раздел 5. Основные технические характеристики светильников и источников света	16	11.3. Освещение фондохранилищ.....	48
5.1. Электрические параметры	17	11.4. Освещение реставрационных мастерских.....	48
5.2. Светотехнические параметры	19	11.5. Освещение иных рабочих мест.....	48
5.3. Эксплуатационные параметры.....	26	Раздел 12. Измерения характеристик освещения: приборы и методика	49
Раздел 6. Основные типы осветительных приборов, используемых в экспозиционном освещении	28	12.1. Проведение прямых измерений	50
6.1. Светильники.....	29	12.2. Вычисление нормируемых параметров, не определяемых прямыми измерениями.....	51
6.2. Шинопровод.....	29	Раздел 13. Технические регламенты в музейном освещении	54
6.3. Аксессуары для экспозиционного осветительного оборудования.....	31	Раздел 14. Техническое задание, закупка и экспертиза	57
Раздел 7. Управление освещением	32	14.1. Составление технического задания на поставку	58
7.1. Физические принципы диммирования.....	33	14.2. Особенности осуществления госзакупок в сфере культуры.....	59
7.2. Системы управления освещением.....	35	14.3. Экспертиза.....	60
7.3. Дополнительные элементы и функции.....	36	Раздел 15. Некоторые аспекты эксплуатации систем электроосвещения.....	63
Раздел 8. Рекомендации по освещению экспонатов	37	Полезная литература для изучения	65
8.1. Рекомендации по освещению экспонатов в вертикальной плоскости	38		
8.2. Рекомендации по освещению объемных экспонатов	39		
8.3. Рекомендации по освещению экспонатов в витринах	39		

Введение



Музейное освещение – многогранное и широкое понятие, включающее в себя не только освещение экспозиции, но и освещение фондохранилищ, реставрационных мастерских и прочих рабочих мест, а также общее освещение помещений.

Одна из главных задач музея – сохранение культурного наследия. Другая – демонстрация своих коллекций публике. Очевидно, что уже в этой части возникает противоречие, ведь наиболее выгодным световым решением для сохранения музейного предмета будет помещение его в темную комнату. Помимо этого, музей – общественное пространство, освещение в котором должно отвечать соответствующим нормам. Также система искусственного освещения является потребителем электроэнергии, частью энергетической сети здания, и ее составляющие должны отвечать требованиям эффективности и безопасности. В довершение, многие музеи располагаются в исторических зданиях, архитектура и статус которых могут ограничивать возможности проектировки освещения.

Таким образом, требования к музейному свету предъявляются с самых разных сторон и по разным параметрам. Света должно быть не много, но и не мало. Световое оборудование должно быть энергетически эффективным, а излучаемый им свет – высочайшего качества.

Очевидно, что для того, чтобы освещение соответствовало предъявляемым к нему требованиям, необходимо производить контроль его параметров. Несколько менее очевидно, что контроль может и должен производиться на всех стадиях жизненного цикла системы освещения: от грамотно составленного технического задания, к контролю при поставке, и до контроля в течение эксплуатации.

Данное Руководство разработано для оказания помощи сотрудникам музеев, занимающим должности, в отношении выполняемых работ по которым необходимо выполнять нормы по хранению, даже если они не являются специалистами в области освещения. Доступным языком рассказывается о параметрах осветительного оборудования, которые важно принимать во внимание, а также о способах решения часто возникающих при устройстве освещения задач.

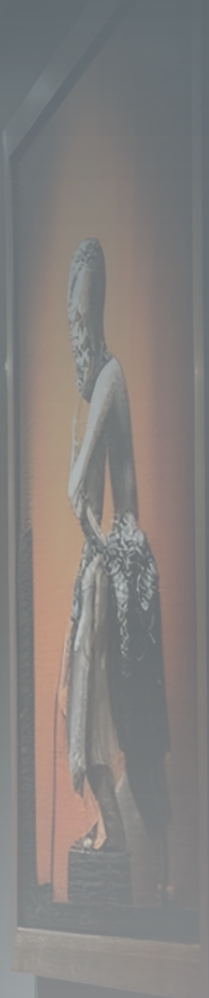
Существенный и неизбежный акцент сделан на специфике светодиодного освещения. Светодиоды, являющиеся на сегодняшний день наиболее эффективными и компактными источниками света, подарили проектировщикам как новые возможности, так и новые трудности.

Следуя рекомендациям, изложенным в данном Руководстве, следует принимать во внимание требования нормативной документации, действующей на момент выполнения мероприятий, связанных с проектированием, разработкой, закупкой, монтажом, эксплуатацией, ремонтом и т. п. В Руководстве указаны только те нормативные документы, которые непосредственно относятся к музейному освещению, ссылки на другие нормативные документы актуальны только в части темы, рассматриваемой в настоящем Руководстве.

Применяя на практике рекомендации, изложенные в настоящем Руководстве, необходимо иметь в виду, что любая срочность и важность тех или иных мероприятий не отменяет требований законодательства РФ в области охраны труда, в том числе мер безопасности при работе в электроустановках, частью которых являются рассматриваемые здесь приборы и оборудование.

РАЗДЕЛ

Основные задачи, решаемые при устройстве освещения экспозиции и архитектурной подсветки



1. Обеспечение сохранности музейных предметов

Оптическое излучение – один из главных вредных факторов, воздействующих на музейные предметы. Для того, чтобы замедлить разрушение музейных предметов, находящихся в экспозиции и в хранении, необходимо соблюдать нормы освещенности и нормы облученности, содержащиеся в нормативной документации.

2. Сохранение видимости экспонатов

Работа со светом в музее – это всегда поиск баланса между обеспечением сохранности музейных предметов и сохранением возможности для посетителей видеть и воспринимать экспонаты.

3. Корректная передача облика экспонатов и архитектурных элементов

Неудачно спроектированное освещение может исказить вид предметов: удалять тени и объем, передавать не все оттенки цветов, может быть излишне «художественным» и нарушать восприятие замысла, который вкладывал художник.

4. Обеспечение комфорта

Поход в музей – это напряженная работа для зрительного аппарата. Поэтому, в стремлении выполнить вышеперечисленные задачи, важно не упустить из вида такой важный фактор, как комфорт посетителя, для глаз которого, в сущности, и создается экспозиция. Во избежание возникновения слепящего эффекта следует тщательно выбирать расположение и тип осветительных приборов, использовать специальные аксессуары. Также строго ограничивается допустимый уровень пульсации освещения.

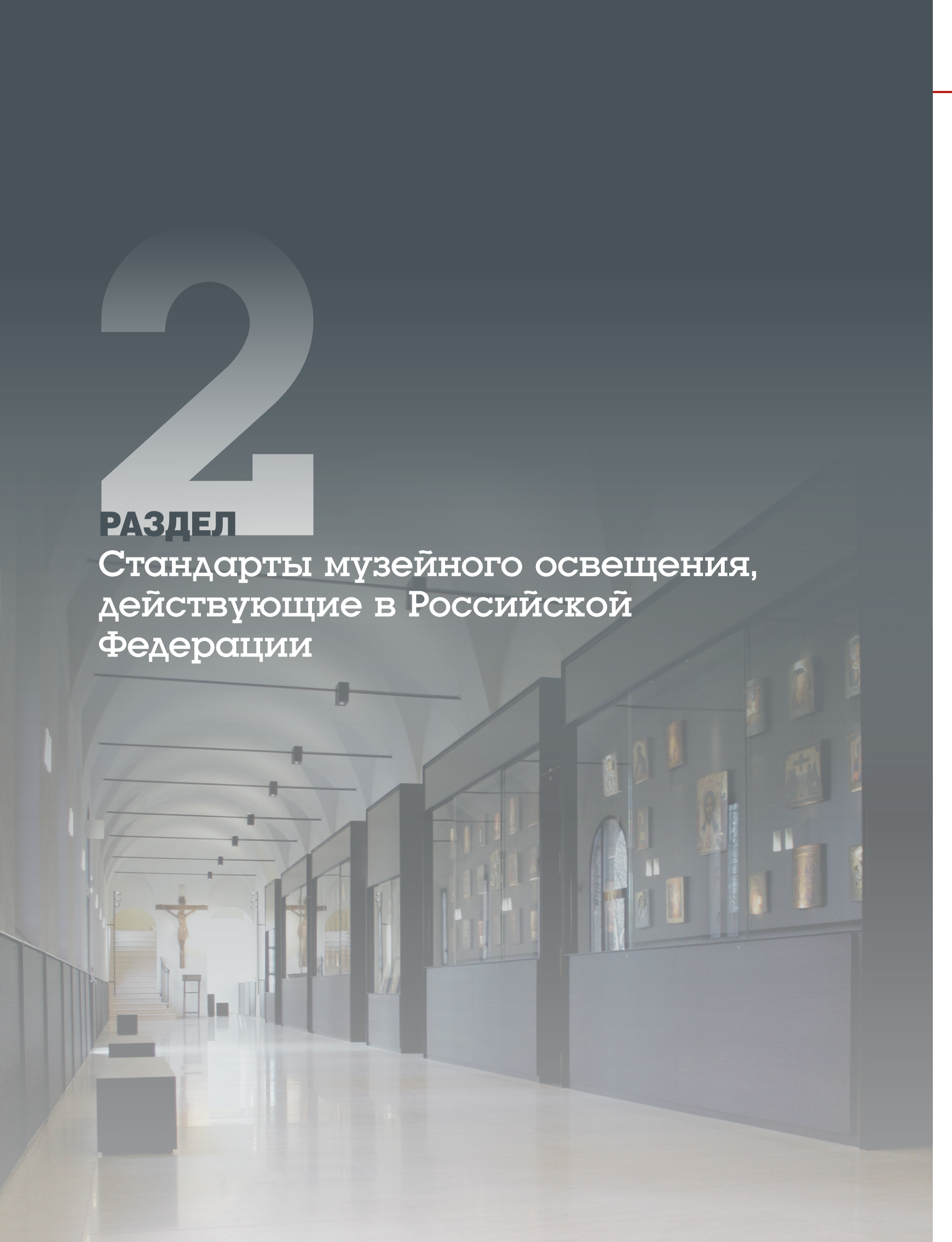
5 Обеспечение безопасности

Одним из инструментов в комплексной задаче обеспечения безопасности является аварийное освещение. Аварийное освещение работает от независимых источников питания и включает в себя резервное освещение (освещение безопасности) и эвакуационное освещение. Важно помнить, что система освещения может быть не только инструментом для преодоления чрезвычайных ситуаций, но и причиной их возникновения, в случае низкого качества оборудования или монтажа

2

РАЗДЕЛ

Стандарты музейного освещения, действующие в Российской Федерации



1. ГОСТ Р 58814-2020 «Музейное освещение. Термины и определения».

Стандарт устанавливает термины и определения в области музейного освещения. Стандарт охватывает терминологию в указанной области в части общих музейно-искусствоведческих терминов, а также фотометрических, колориметрических, радиометрических и иных терминов, связанных с освещением музейных предметов и помещений музеев.

2. ГОСТ Р 58815-2020 «Светильники со светодиодами для музейного освещения. Общие технические условия».

Стандарт распространяется на светильники со светодиодами для освещения помещений музеев, фондохранилищ и реставрационных мастерских. В стандарте представлены основные технические требования к светильникам со светодиодами, которые необходимо учитывать при проектировании помещений или при закупке нового оборудования.

3. ГОСТ Р 70835-2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы».

Стандарт устанавливает нормы освещения музейных предметов и помещений музеев, фондохранилищ и реставрационных мастерских светодиодными источниками света, которые обеспечивают безопасные и комфортные условия нахождения людей в помещениях музеев, фондохранилищ и реставрационных мастерских и возможность адекватного

восприятия экспонируемых музейных предметов при минимизации вреда, наносимого музейным предметам оптическим излучением.

Стандарт применяют при проектировании, вводе в действие, реконструкции и эксплуатации осветительных установок со светодиодными источниками света, предназначенных для экспозиционного освещения музейных предметов и для общего освещения помещений музеев, фондохранилищ и реставрационных мастерских.

4. ГОСТ Р 70836-2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Методы измерений нормируемых параметров».

Стандарт устанавливает методы измерений нормируемых параметров освещения музейных предметов и помещений музеев, фондохранилищ и реставрационных мастерских светодиодными источниками света.

Кроме вышеперечисленного, приказом Министерства Культуры РФ №827 от 23 июля 2020 года были введены Единые правила организации комплектования, учета, хранения и использования музейных предметов и музейных коллекций, где даны подробные разъяснения по организации светового режима в музейных помещениях для обеспечения сохранности экспонатов.

3

РАЗДЕЛ

Понятия и термины в области музейного освещения



В данном разделе приводятся термины и определения, необходимые для работы с настоящим Руководством. Для более подробного изучения терминологии рекомендуется ознакомиться с ГОСТ Р 58814-2020 «Музейное освещение. Термины и определения», а также с ГОСТ Р 56228-2014 «Освещение искусственное. Термины и определения».

Электромагнитное излучение – испускание или перенос энергии в форме электромагнитных волн или связанных с ними фотонов.

Оптическое излучение – электромагнитное излучение с длиной волны от 100 нм до 1 мм. В зависимости от длины волны подразделяется на ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение.

Видимое излучение (свет) – оптическое излучение, которое может непосредственно вызывать зрительное ощущение. Диапазон длин волн: от 400 до 780 нм¹.

Инфракрасное излучение; ИК-излучение – оптическое излучение, длины волн которого лежат в диапазоне от 780 нм до 1 мм.

Ультрафиолетовое излучение; УФ-излучение – оптическое излучение, длины волн которого лежат в диапазоне от 100 до 400 нм.

Поток излучения – это количество энергии, переносимое оптическим излучением за единицу времени; иными словами – мощность, переносимая оптическим излучением. Единица измерения: Вт.

Облученность (энергетическая освещенность), (Вт/м²) – отношение потока излучения (инфракрасного или ультрафиолетового), падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента.

УФ-радиометр – прибор, использующийся для измерения ультрафиолетовой облученности (энергетической освещенности).

Световой поток, (лм, люмен) – световая величина, пропорциональная потоку излучения, оцененному в соответствии с относительной спектральной чувствительностью человеческого глаза.

Освещенность, (лк, люкс) – количество светового потока на единицу площади освещаемой поверхности. 1 лк = 1 лм/м²

Люксметр – прибор, используемый для измерения освещенности.

Средняя освещенность – освещенность, усредненная по заданной поверхности. Определяется усреднением значений освещенности в определенных точках этой поверхности. Количество и положение этих точек определяется в соответствующих стандартах.

Равномерность освещенности – отношение минимальной освещенности на заданной поверхности к средней освещенности на заданной поверхности.

Неравномерность освещенности – отношение максимальной освещенности на заданной поверхности к средней освещенности на заданной поверхности.

Световая экспозиция, (лк•ч) – освещенность на протяжении периода времени. Это важнейший параметр для обеспечения освещения, безопасного для экспонатов и музейных предметов.

Пример: если некоторый музейный предмет выставляется на протяжении 1000 часов при средней освещенности 50 лк, световая экспозиция равняется 50 000 лк•ч.

Демонстрационная годовая световая экспозиция (лк•ч/год) – световая экспозиция, получаемая музейным предметом за годовую продолжительность его экспонирования. Применительно к нормированию музейного освещения, учитываются только те промежутки времени, на протяжении которых музей/выставка открыты для посетителей.

Пример: если некоторый музей открыт для посетителей по 8 часов 6 дней в неделю, то демонстрационная годовая экспозиция некоторого экспоната этого музея при средней освещенности 50 лк составит около 125 000 лк•ч/год.

Сила света, (кд, кандела) – это отношение светового потока, заключенного в каком-либо телесном угле, к величине этого угла. Обозначение: I

Яркость, (кд/м², кандела на квадратный метр) – светлота поверхности предметов, воспринимаемая человеческим глазом. При одинаковой освещенности предметов их яркость может ощущаться по-разному. Обозначение: L

Яркомер – прибор, используемый для измерения яркости.

Блескость – явление, при котором появляется дискомфорт или уменьшается способность видеть детали или объекты вследствие неблагоприятного распределения

¹ Такой диапазон используется в музейном освещении. В светотехнической промышленности обычно используется диапазон от 380 до 780 нм.

или уровня яркости или экстремальных контрастов. Дискомфортная блескость – блескость, вызывающая неприятные ощущения, но не обязательно ухудшающая при этом видимость объектов.

Объединенный показатель дискомфорта (UGR) – характеристика дискомфортной блескости. Является нормируемым параметром освещения и оценивается по шкале от 10 до 30.

Освещение – использование света для того, чтобы сделать видимыми объекты и/или их окружение.

Музейное освещение – освещение музейных предметов, выставочных помещений и вспомогательных помещений музеев, реставрационных мастерских и фондохранилищ.

Экспозиционное освещение – освещение музейных экспонатов.

Экспонат – музейный предмет, выставленный для обозрения. В качестве музейного экспоната могут быть как подлинные предметы, так и воспроизведенные (модели, макеты и т. д.) и научно-вспомогательные материалы (карты, схемы, графики, тексты).

Музейный предмет – движимый объект культурного и/или природного наследия, имеющий научную, мемориальную, историческую и/или художественную ценность, выступающий как источник знания и эмоционального воздействия и подлежащий хранению и изучению в музейном учреждении

Общее освещение – освещение открытых пространств или помещений или отдельных их зон без учета специальных локальных требований. Общее освещение обычно осуществляется за счет потолочных светильников рассеянного и отраженного света, люстр, а также окон.

Акцентирующее освещение – освещение, предназначенное для существенного увеличения освещенности на ограниченном участке или объекте по сравнению с окружающим пространством при минимуме рассеянного освещения. Применительно к музейной сфере, это освещение, направленное на конкретный экспонат, экспликацию или элемент интерьера с целью сфокусировать на нем внимание посетителя, позволить лучше рассмотреть.

Рабочее освещение – освещение, обеспечивающее нормируемые светотехнические параметры (освещенность, качество освещения и др.) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Дежурное освещение – освещение в нерабочее время.

Аварийное освещение – освещение, предназначенное для использования при нарушении питания рабочего освещения.

Резервное освещение – вид аварийного освещения для продолжения работы в случае отключения рабочего освещения.

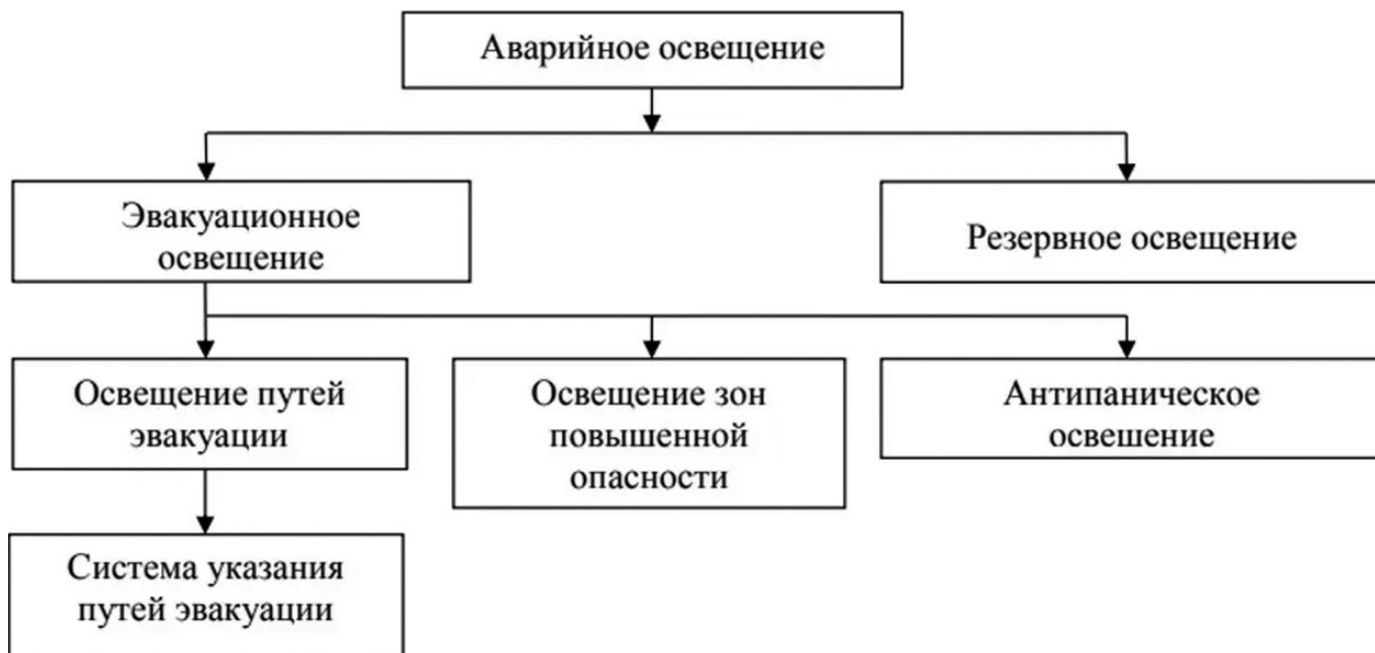


Рис. 1. Виды аварийного освещения²

² СП 439.1325800.2018 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения»

Эвакуационное освещение – вид аварийного освещения для эвакуации людей или завершения потенциально опасного процесса.

Освещение путей эвакуации – вид эвакуационного освещения для надежной идентификации и безопасного использования путей эвакуации

Освещение зон повышенной опасности – вид эвакуационного освещения для безопасного завершения потенциально опасного рабочего процесса.

Антипаническое освещение – вид эвакуационного освещения для предотвращения паники и безопасного подхода к путям эвакуации.

Естественное освещение – освещение источниками света, существующими в природе. В контексте музейного освещения подразумевается прямое и отраженное излучение Солнца.

Искусственное освещение – освещение, создаваемое с помощью искусственных источников света – как электрических, так и неэлектрических.

Источник света – устройство, излучающее свет в результате преобразования электрической энергии.

Светильник – прибор, перераспределяющий, фильтрующий или преобразующий свет, излучаемый одной или несколькими лампами, и содержащий все необходимые детали для установки, крепления и защиты его и ламп, но не сами лампы, а при необходимости и дополнительные электрические цепи вместе с устройствами для присоединения их к электрической сети³.

Прибор с несъемными незаменяемыми лампами также считают светильником.

В рамках настоящего руководства термины светильник и осветительный прибор принимаются как тождественные.

Светогенератор – осветительный прибор, предназначенный для использования с оптоволоконными световодами.

Трековое освещение – освещение, выполняемое с помощью светильников, устанавливаемых на трек (шинопровод).

Шинопровод (трек, «шина») – устройство, обеспечивающее, с одной стороны, подключение оборудования к питающей сети, а с другой – его крепление и размещение на необходимой высоте. Это наиболее часто используемый способ подключения и крепления светильников при создании экспозиционного освещения.

³ ГОСТ ИЕС 60598-1-2017

4

РАЗДЕЛ

**Типы источников света
в музейном освещении**



4.1.

Лампы накаливания (ЛН)

Принцип действия основывается на явлении теплового излучения, происходящего в результате нагрева нити накала за счет протекания через нее электрического тока. Нить накала изготавливается из тугоплавких металлов (например, вольфрама) и помещается в стеклянную колбу, из которой предварительно откачивается воздух. Колба заполняется инертным газом (элементы VIII группы таблицы Менделеева), что замедляет выгорание нити накала.

Галогенные лампы накаливания (ГЛН) – более совершенные лампы, в колбах которых, помимо инертного газа, содержатся галогены – элементы VII группы таблицы Менделеева (хлор, бром, йод). При нагреве эти элементы образуют с атомами металла (вольфрама) устойчивые соединения – галогениды. Однако при дальнейшем повышении температуры эти соединения снова распадаются на атомы металла и галогена. Процесс образования и распада галогенидов называется галогенным циклом и позволяет повысить долговечность лампы накаливания, «возвращая» атомы вольфрама обратно на тело накала. Помимо этого, применение галогенного цикла позволило увеличить световую отдачу ламп и уменьшить их габариты.



Рис. 2. Различные галогенные лампы накаливания

Большая часть испускаемого лампой накаливания света приходится на инфракрасный диапазон. Это означает как низкую эффективность, так и сильный нагрев светового прибора и освещаемых им поверхностей. Последнее обстоятельство негативно сказывается на сохранности музейных предметов. Однако тепловая природа излучаемого лампами накаливания света также обуславливает и главное их достоинство – непрерывный спектр излучения, и следовательно, отличную цветопередачу. Поэтому, если в целях общего освещения лампы накаливания были вытеснены более современными источниками света, то в таких узких областях как экспозиционное освещение, полноценный переход к энергоэффективным источникам света стал возможен сравни-

тельно недавно, и световые приборы с галогенными лампами все еще часто можно встретить в эксплуатации. Используются, как правило, низковольтные лампы накаливания, подключаемые к сети питания через электронный трансформатор.

4.2.

Газоразрядные лампы

В этом типе источников света видимое излучение создается за счет электрического разряда. Разряд возникает в заполняющей колбу лампы смеси газов и (или) паров металлов при подаче достаточного для пробоя газа напряжения на расположенные внутри колбы электроды. Для подключения большинства газоразрядных ламп необходимо использование пускорегулирующих аппаратов (ПРА), обеспечивающих предварительный разогрев электродов лампы, импульсный поджиг и поддержание горения. В настоящее время применяются пускорегулирующие устройства, выполненные на полупроводниковых элементах – электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА).

Существует множество разновидностей газоразрядных ламп, отличающихся составом наполнения, рабочим давлением и иными признаками. Однако для музейного освещения имеют значение два вида разрядных ламп: металлогалогенные и люминесцентные.

Люминесцентные лампы (ЛЛ) – газоразрядные лампы низкого давления, внутренняя поверхность которых покрыта специальным химическим составом – люминофором. Люминофорами называются вещества, способные к фотолюминесценции – свечению под действием поглощаемого оптического излучения. При этом длина волны испускаемого люминофором излучения, как правило, выше длины волны поглощаемого им излучения.

Колба люминесцентной лампы заполнена инертным газом и парами ртути. Возникающий разряд испускает оптическое излучение, основная часть которого лежит в УФ-области спектра. Люминофор переводит это излучение в видимый спектр. Однако часть изначального излучения разряда проходит через слой люминофора. Поэтому спектр результирующего излучения лампы содержит излучение линий ртутного разряда, в том числе ультрафиолетовое. В целом спектр излучаемого лампой света определяется составом и количеством люминофора. Но также на него влияет давление внутри колбы. Следовательно, люминесцентные лампы чувствительны к температуре окружающей среды.

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) – лампы, известные в обиходе как «энергосберегающие». Это ЛЛ, имеющие узкую колбу изогнутой формы, за счет чего размеры лампы соизмеримы с обычными лампами накаливания. Лампы имеют встроенную ЭПРА и цоколь E14 или E27, что позволяет ставить их на место ламп накаливания. В некоторых моделях КЛЛ для придания более традиционного внешнего

вида, изогнутая колба закрывается матовым рассеивателем.

Металлогалогенные лампы (МГЛ) – газоразряд-



Рис. 3. Различные люминесцентные лампы

ные лампы высокого давления, в колбах которых, помимо инертного газа и паров ртути, содержатся галогениды (как правило, йодиды) некоторых металлов (натрий, литий, таллий и другие). Попадая в область разряда, молекулы галогенидов распадаются на металлы и галогены. Металлы, в свою очередь, испускают излучение свойственного им спектра. Затем, диффундируя к стенке колбы лампы, атомы металлов и галогенов снова образуют галогениды. Происходит галогенный цикл. Использование нескольких специально подобранных галогенных добавок позволяет получить достаточно равномерный в видимой области спектр излучения. При этом галогенный цикл обеспечивает достаточно продолжительный срок службы лампы. Отличительной особенностью МГЛ является высокая температура колбы, а также высокое напряжение, необходимое для первоначального зажигания лампы. В спектре испускания МГЛ содержится значительное количество ультрафиолета.

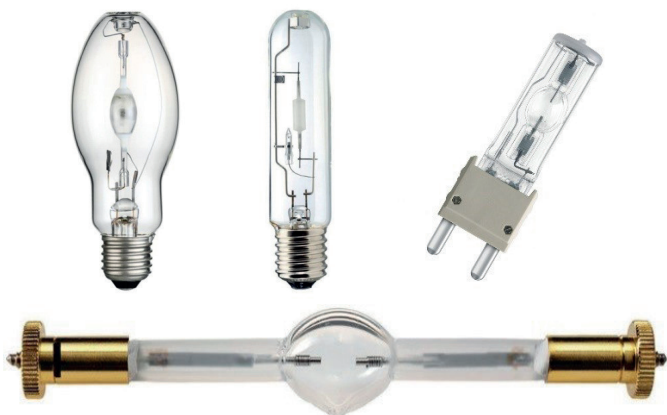


Рис. 4. Различные металлогалогенные лампы

Пускорегулирующая аппаратура. Для подключения любых типов газоразрядных ламп необходимо использование пускорегулирующих аппаратов (ПРА), обеспечивающих предварительный разогрев электродов лампы, импульсный поджиг и поддер-

жание горения. В настоящее время применяются пускорегулирующие устройства, выполненные на полупроводниковых элементах – электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА).

4.3. Светодиоды (LED)

Это наиболее современные источники света, принцип действия которых основан на явлении рекомбинационного излучения.

Сам по себе светодиод – практически монохромный источник света, то есть излучает в узкой части спектра, определяемой свойствами полупроводниковых материалов, из которых он состоит. Для того, чтобы получить условно белый свет, визуальнo близкий к тепловым источникам света, таким как солнце или лампы накаливания, применяются две группы технологий: многокристалльные светодиоды и люминофорные светодиоды.

В многокристалльных или многокомпонентных светодиодах белый свет получается путем смешивания монохромных излучений нескольких различных светодиодов, собранных в одном корпусе. Набор компонентов может варьироваться от наиболее простой системы RGB (красный, зеленый, синий), до более сложных, таких как RGBACL, где помимо упомянутых стандартных цветов используются также янтарный, голубой и лаймовый. Использование дополнительных компонентов не только позволяет более гибко работать с цветом, если это необходимо, но и обеспечивает высокое качество белого света с отличной цветопередачей.

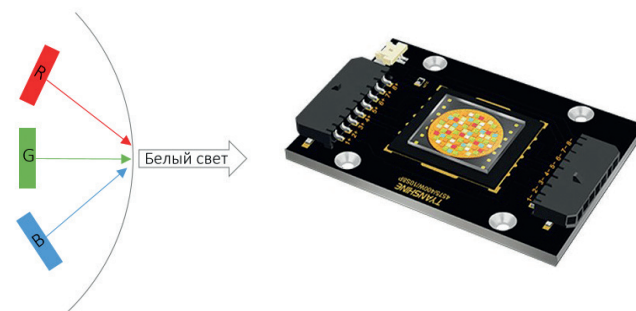


Рис. 5. Принцип действия и пример внешнего вида полихромного СД⁴

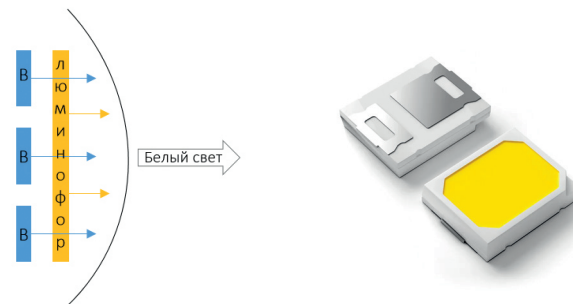


Рис. 6. Принцип действия и пример внешнего вида люминофорного СД⁵

Принцип действия люминофорных светодиодов (светодиодов белого свечения) близок к люминесцентным лампам. В качестве источника генерирующего излучения используется светодиод, излучающий, как правило, в синей части спектра. Это излучение возбуждает покрывающий светодиод люминофор, в свою очередь, излучающий в желтой части спектра. Смешение этих цветов воспринимается человеческим глазом как белый. В зависимости от состава и толщины люминофора варьируется цветовая температура излучаемого света. Существуют также технологии, основывающиеся на использовании не синих, а ультрафиолетовых и фиолетовых светодиодов. Спектр излучения таких светодиодов наиболее близок к солнечному в видимой части. Однако применение таких светодиодов для освещения музейных предметов нежелательно из-за вредности обладающих высокой энергией фиолетового и ультрафиолетового излучений.

Светодиод может как располагаться внутри лампы, так и быть самостоятельным источником света для светильника, например, в составе светодиодной ленты или матрицы. Использование светодиодов дает существенную экономию электроэнергии в силу свойственных им высоких значений световой отдачи. Помимо этого, светодиоды имеют срок службы, значительно превосходящий срок службы прочих источников света. Таким образом, использование светодиодных источников света позволяет упростить эксплуатацию осветительного оборудования, а также значительно снизить потребление электроэнергии и, следовательно, расходы.

⁴ Full Spectrum Matrix LED Colors RGBACL 800W LED Module CCT Mixing 1800K - 20000K

⁵ Светодиод AR-2835-SAF-White6000-85 (3V, 150mA) (Arlight, SMD 2835) 032312

5

РАЗДЕЛ

**Основные технические характеристики
светильников и источников света**



Открывая паспорт на светильник или на источник света, мы видим множество различных характеристик. Они подразделяются на технические и эксплуатационные. Технические параметры характеризуют светильник или источник света безотносительно к условиям его применения⁶, и к ним относятся электрические, светотехнические и механические параметры.

Далее рассматривается такой важный электрический параметр как **коэффициент мощности**. Коэффициент мощности (λ , PF) – отношение активной потребляемой прибором мощности к полной потребляемой им мощности. Полная мощность складывается из суммы активной и неактивной мощности. Коэффициент мощности практически не влияет на

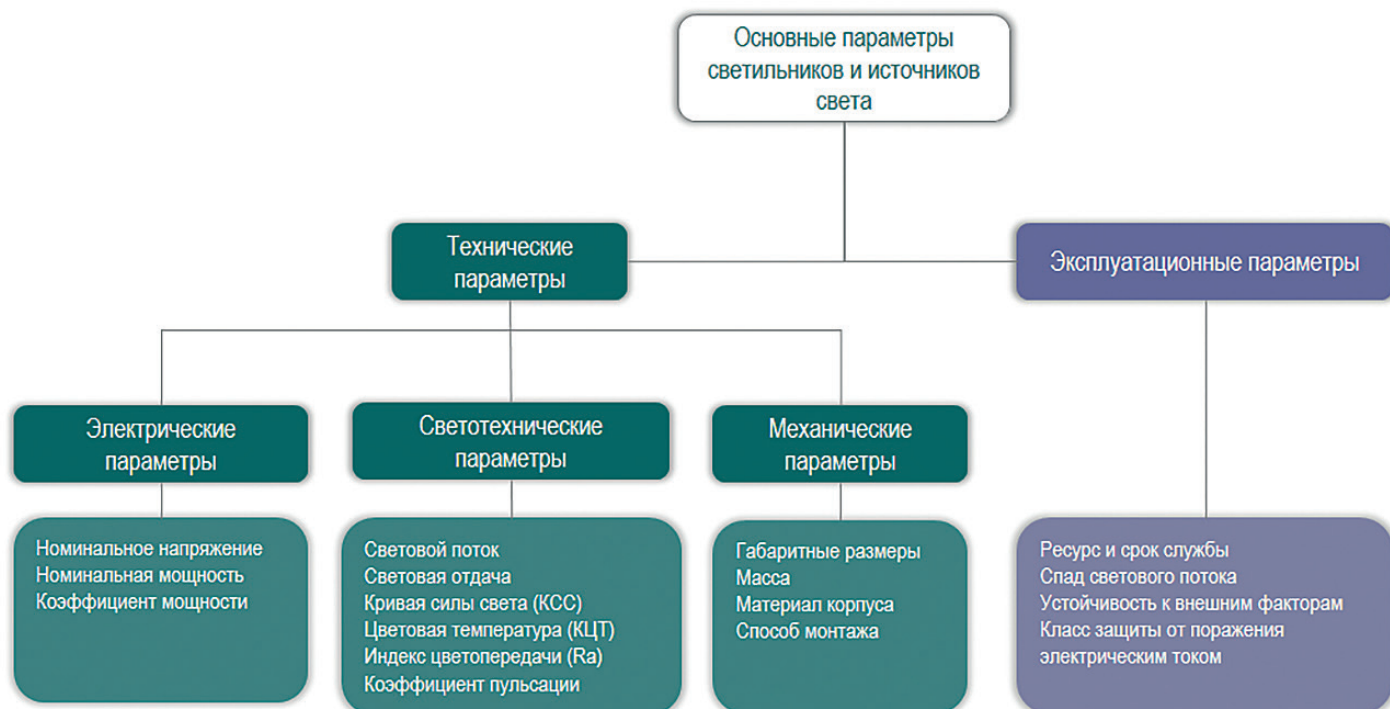


Рис. 7. Основные характеристики светильников и источников света

5.1. Электрические параметры

Электрические параметры – это параметры, описывающие светильник как потребителя электроэнергии. Основные электрические характеристики, их обозначения и размерности приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные электрические параметры осветительного прибора

Название	Обозначение	Размерность
Мощность	P	Вт (W)
Номинальное напряжение	U	В (V)
Частота питающей сети	f	Гц (Hz)

Также важной характеристикой осветительного прибора является род питающего тока: постоянный (DC) или переменный (AC).

энергопотребление самого устройства, включенного в сеть, но влияет на потери энергии в идущих к нему проводах, а также на подстанциях. В частности, происходит нагрев кабельных линий и высыхание изоляции, появление больших токов в нейтральных проводах. Повышается риск короткого замыкания, искрения и возгорания. Если указано, что коэффициент мощности светильника равен 0,9 – это означает, что только 90 % получаемой светильником мощности уходит на выполнение его непосредственной функции, тогда как остальные 10 % расходуются на нагрев идущих к нему проводов. Использование оборудования с высоким коэффициентом мощности снижает нагрузку на электрическую сеть и повышает безопасность.

Неактивная мощность включает в себя две составляющие разной природы: реактивную мощность и мощность искажений (Рис. 8). Параметры, служащие для их оценки, также встречаются в технической документации световых приборов. Рассмотрим каждый из них подробнее.

⁶ Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. / Под редакцией профессора Ю.Б. Айзенберга. М., 2008. С. 48.

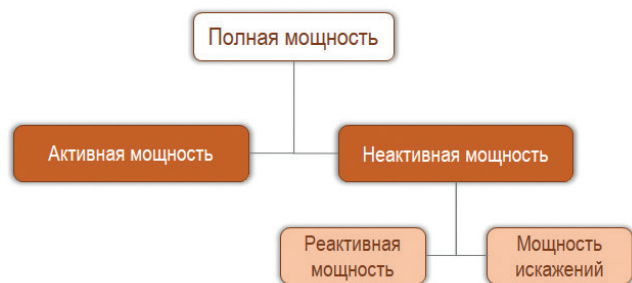


Рис. 8. Активная и неактивная мощность

$\cos \varphi$ – это величина, отражающая фазовый сдвиг между током и напряжением. Фазовый сдвиг вызывается наличием в цепи прибора реактивных элементов – индуктивностей или емкостей. Угол, на который фаза напряжения отстает от фазы тока (или опережает его), обозначается как φ . В идеальном случае фазы ток и напряжение не отстают друг от друга, соответственно $\varphi = 0$, а $\cos \varphi = 1$.

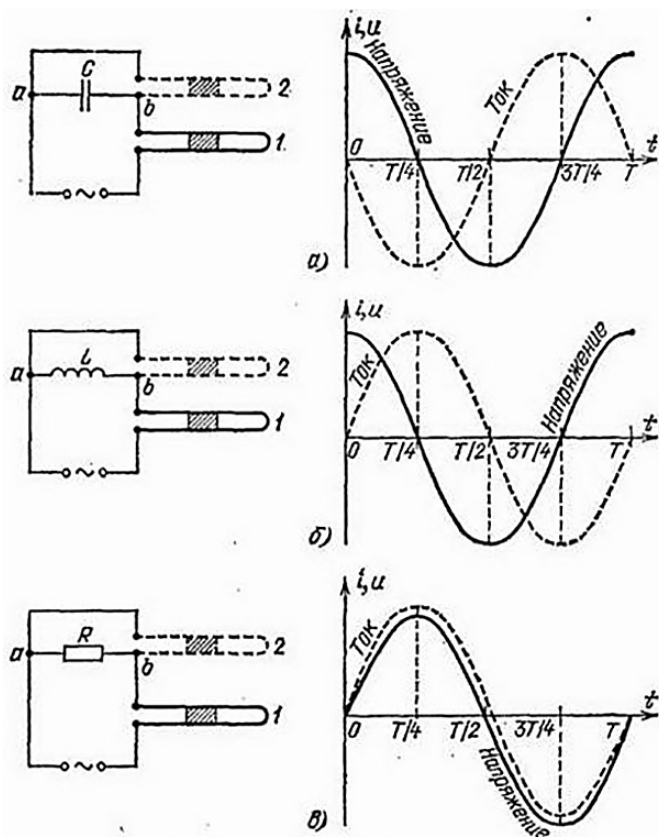


Рис. 9. Фазовые сдвиги

Для синусоидального сигнала значение $\cos \varphi$ численно равняется отношению активной мощности к полной мощности, то есть фактически является коэффициентом мощности. Однако в большинстве реальных случаев все сложнее. Если мы посмотрим на реальную осциллограмму для сети переменного тока, мы увидим, что форма сигнала искажена и напоминает синусоиду лишь отдаленно. Это говорит о наличии

в сети высших гармоник. Что это значит? Любой периодический несинусоидальный (негармонический) сигнал может быть математически представлен как сумма синусоидальных сигналов кратной частоты. Эти сигналы называются гармониками (Рис. 10). Первая гармоника с частотой равной фундаментальной частоте сети (50 Гц) называется *основной гармоникой*. Все остальные гармоники принято называть *высшими гармониками*. Высшие гармоники создаются нелинейной нагрузкой – такими устройствами как блоки питания бытовой техники, частотные регуляторы, пускорегулирующая аппаратура газоразрядных ламп и драйверы светодиодов. Помимо пожароопасного нагрева проводов, большое количество нелинейных искажений в сети способно приводить к возникновению электромагнитных помех, препятствующих нормальной работе точного оборудования.

Коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник, THD) – параметр, отражающий количество нелинейных искажений, создаваемых прибором. Численно равен отношению суммы мощностей высших гармоник к мощности основной гармоники. Коэффициент принято выражать в процентах. Чем ближе его значение к 0 %, тем меньше нелинейных искажений создает прибор, и тем выше его качество.

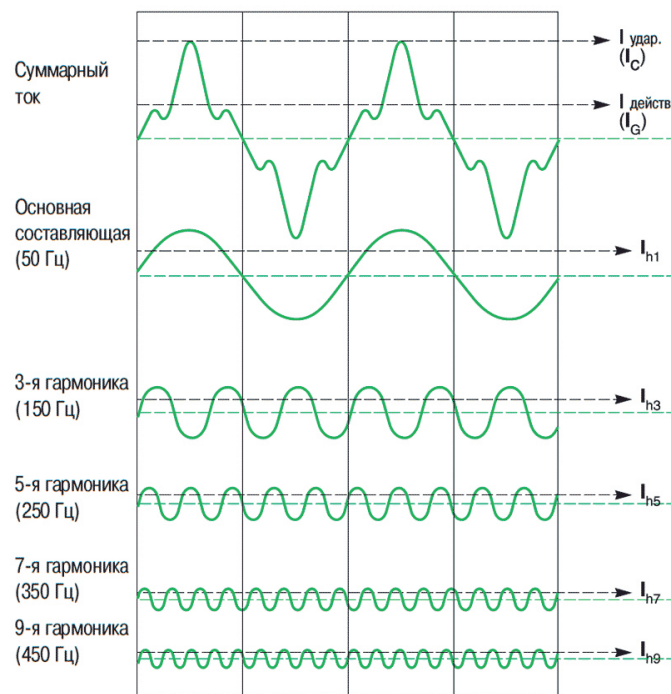


Рис. 10. Высшие гармоники первых порядков и искажение синусоиды тока фундаментальной частоты 50 Гц⁷

Коэффициент мощности может быть выражен через $\cos \varphi$ и THD в следующем виде⁸:

$$\lambda = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + THD^2}}$$

⁷ Об активных фильтрах гармоник для «чайников» и правилах выбора фильтрокомпенсирующих устройств. (mircond.com)

⁸ Karatzaferis J. et al. Comparison and evaluation of power factor correction topologies for industrial applications. 2013.

Таким образом, коэффициент мощности можно считать равным $\cos \varphi$ тогда и только тогда, когда коэффициент нелинейных искажений равен нулю.

5.2.

Светотехнические параметры

Световой поток – мощность светового излучения. Эта величина измеряется в люменах (лм, lm) и характеризует количество света, создаваемое осветительным прибором. Обозначение: Φ

Световая отдача – это один из показателей энергоэффективности осветительного прибора или источника света, численно равный отношению светового потока источника света к потребляемой им электрической мощности. Единица измерения световой отдачи – люмен на Ватт (лм/Вт). Обозначение: η .

Световая отдача осветительного прибора меньше световой отдачи его источника света в силу потерь, создаваемых корпусом и оптической системой. Чем больше в оптической системе компонентов, тем ниже результирующая световая отдача.

щений – не более 10 % (в соответствии со Сводом правил «Естественное и искусственное освещение» СП 52.13330.2016). Для экспозиционных залов музеев установлено значение коэффициента пульсации не более 5 %. Такое же значение должно соблюдаться при освещении рабочих мест, оборудованных персональным компьютером.

Если частота пульсации превышает 300 Гц (например, у люминесцентных ламп с современными ЭПРА, или при диммировании светодиодов посредством ШИМ), то значение коэффициента пульсации не нормируется.

Кривая силы света (КСС) – графическое изображение пространственного распределения света, излучаемого источником. КСС позволяет получить некоторое представление о том, как будет выглядеть свет от источника света или светильника на объекте, а также примерно определить угол распределения света прибора (Рис. 11).

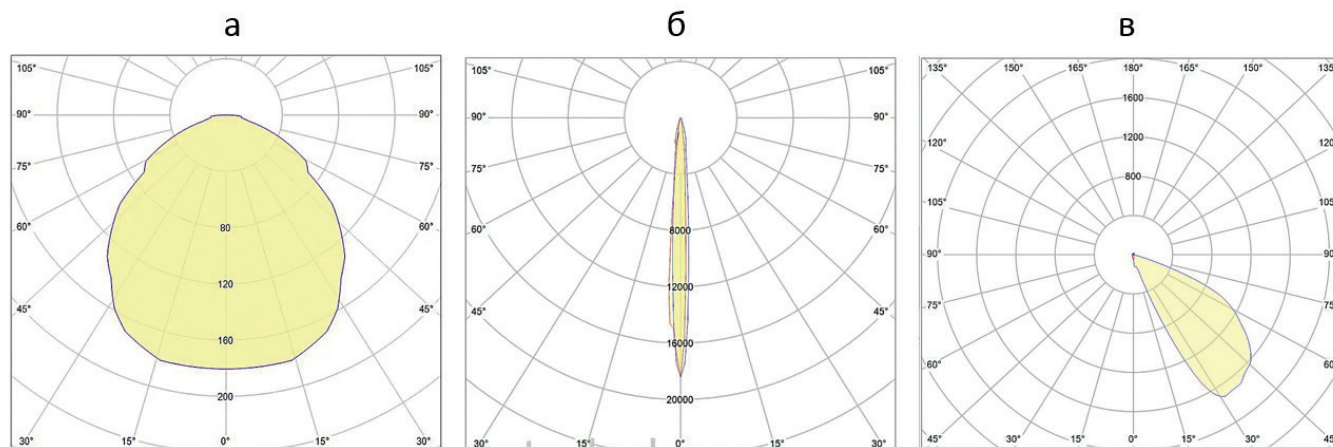


Рис. 11. Примеры КСС (а – широкий угол; б – узкий угол; в – ассиметричное распределение света)

Коэффициент пульсации освещенности (Кп) – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света при питании их переменным током. Равен выраженному в процентах отношению разности значений максимальной и минимальной освещенности к удвоенному значению средней освещенности за период. На практике измеряется предназначенным для этого прибором – *пульсметром*. Это важный фактор комфортности освещения, поскольку длительное пребывание в помещении с высокими пульсациями освещенности создает дополнительную нагрузку на зрение и нервную систему в целом. Значение коэффициента пульсации обуславливается параметрами цепи питания осветительного прибора и не зависит от самого источника света.

Норма коэффициента пульсации для общественных пространств – не более 20 %, для рабочих поме-

Иногда вместо графика в документах указывается буквенное обозначение типа КСС (ГОСТ Р 54350-2015).

Особое значение для музейного освещения играют спектральные характеристики света, от которых во многом зависит то, как будут восприниматься освещенные экспозиции и пространства. Говоря о *спектре источника света*, мы в действительности подразумеваем относительное спектральное распределение энергии испускаемого им электромагнитного излучения в видимом диапазоне. Спектр представляет собой информацию об относительном содержании тех или иных длин волн в излучаемом свете. Спектр определяет цветность излучения, его способность к корректной цветопередаче, а также относительную фотохимическую опасность для музейных предметов.

Информация о спектре может быть получена при помощи специального прибора – *спектрометра*. Раз-

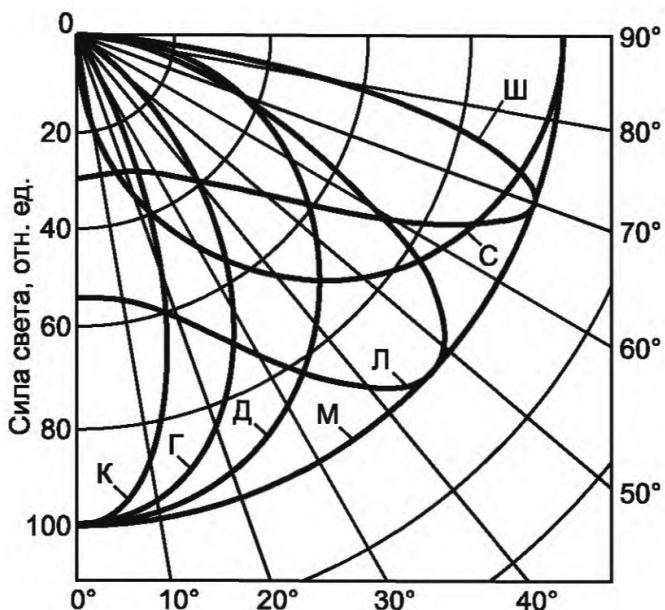


Рис. 12. Типы КСС с буквенными обозначениями по ГОСТ Р 54350-2015

личные источники света имеют различный спектр, определяемый их природой (Рис. 13). Благодаря этой характеристике, имея спектрометр, можно дистанционно определить тип источника света в осветительном приборе при отсутствии возможности сделать это иным способом.

Итак, цветность света определяется его спектром. Однако, в своем «чистом» виде спектральное распределение не является достаточно удобным инструментом. Основой для определения всех связанных с цветом величин является модель **цветового**

Таблица 2. Буквенные обозначения типов КСС по ГОСТ Р 54350-2015

Тип КСС	Обозначение
Концентрированная	К
Глубокая	Г
Косинусная	Д
Полуширокая	Л
Широкая	Ш
Равномерная	М
Синусная	С

пространства **МКО 1931 XYZ** и соответствующие ему **цветовые координаты**. Эта математическая модель была разработана Международной комиссией по освещению в 1931 году и является основой для всех созданных позднее цветовых моделей.

На Рис. 14 представлен так называемый **локус** – цветовая диаграмма, основанная на системе XYZ и отражающая все воспринимаемые глазом человека хроматические цвета. Координаты (x;y) выводятся из значений X,Y, Z и называются **координатами цветности**.

Коррелированная цветовая температура (Correlated Color Temperature, КЦТ, CCT) – величина, равная температуре планковского излучателя (абсолютно черного тела), при которой цветность его излучения в определенной степени близка к цветности рассматриваемого излучения. Абсолютно черное тело – это абстрактная модель такого тела, которое поглощает всё падающее на него электромагнит-

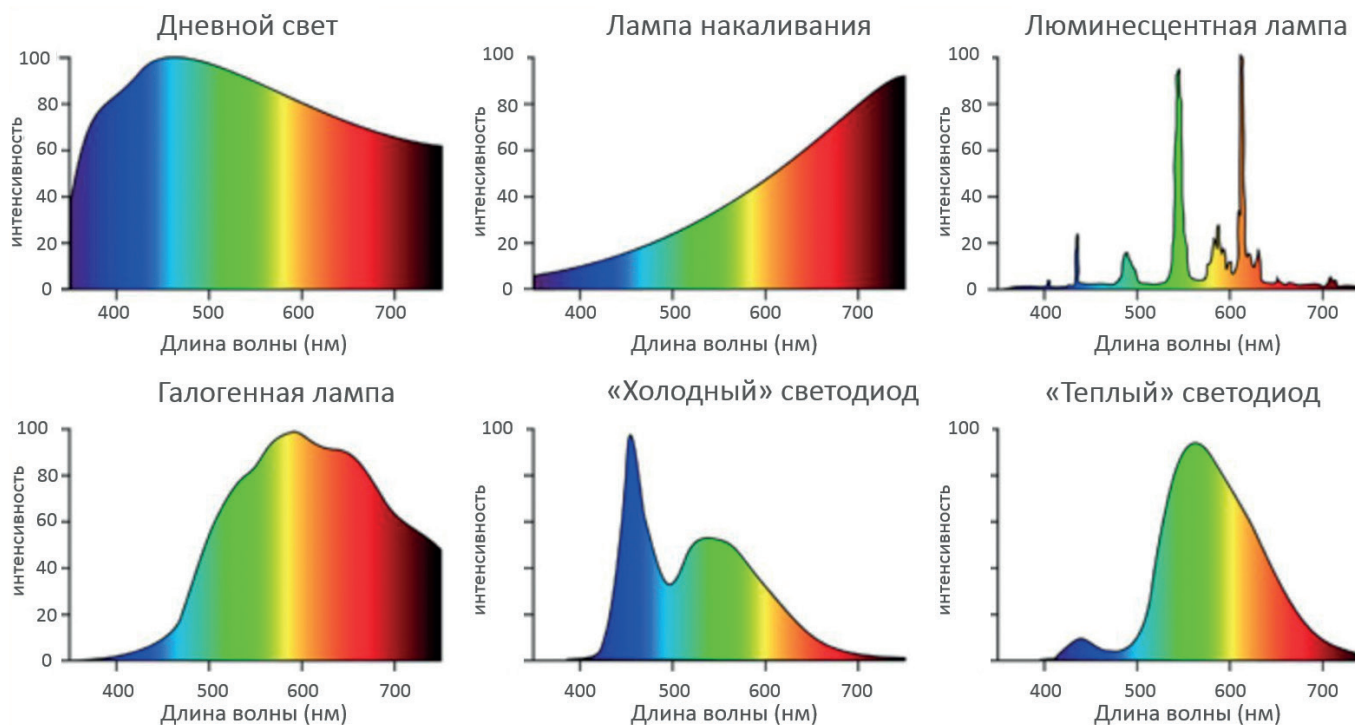


Рис. 13. Спектры излучения различных источников света в видимом диапазоне

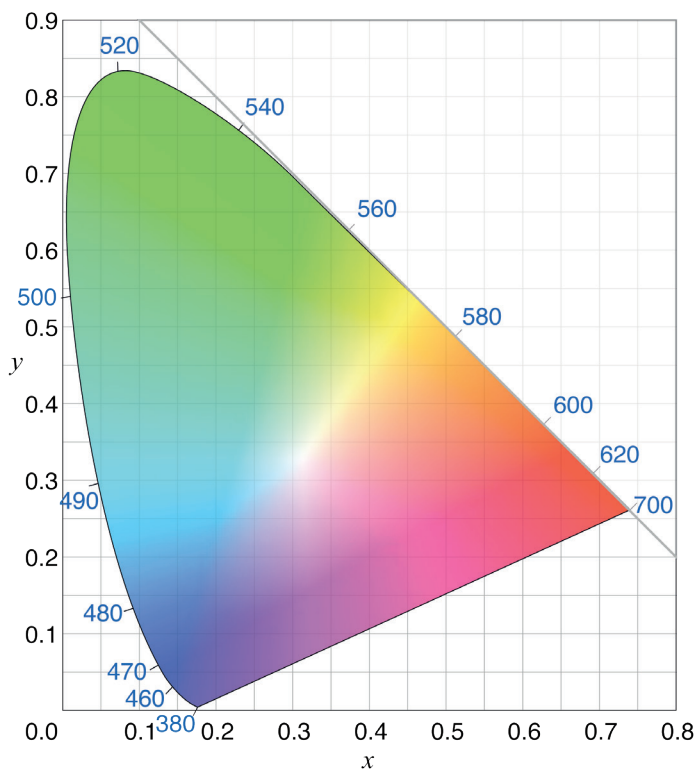


Рис. 14. Цветовая диаграмма МКО 1931

ное излучение. Тем не менее, такое тело может быть источником электромагнитного излучения (в том числе видимого) при его нагреве. Согласно закону смещения Вина, по мере повышения температуры абсолютно черного тела, максимум спектральной плотности его излучения смещается в коротковолновую (синюю) область. Таким образом, чем выше значение цветовой температуры источника света, тем «холоднее» воспринимается его цветность. Единица измерения цветовой температуры – кельвин (К).

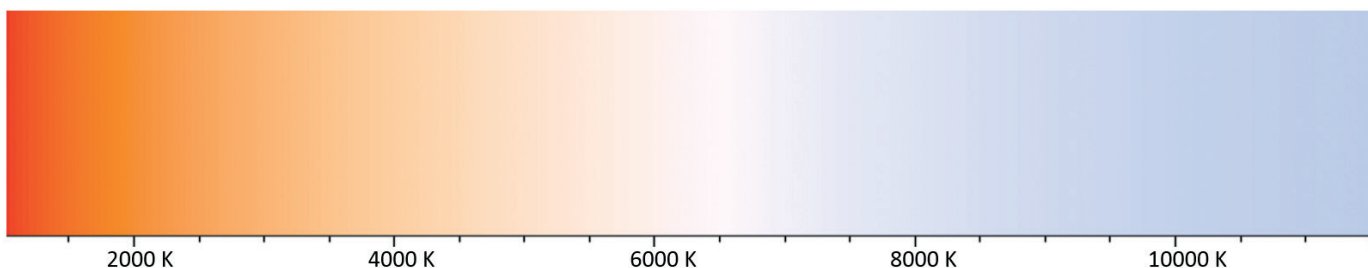


Рис. 15. Условная визуализация коррелированной цветовой температуры

Критерии выбора КЦТ. Для музейного освещения предпочтительными являются значения КЦТ от 2700 К до 4500 К (ГОСТ Р 70835-2023). Выбор цветовой температуры экспозиционного освещения рекомендуется производить, исходя из соображений наилучшего восприятия освещаемого экспоната, поскольку разные произведения, в зависимости от цветовой гаммы, могут по-разному «раскрываться» при том или ином освещении.

Следующий фактор, на который нужно обратить внимание, – это относительная вредность излуче-

ния. Чем выше КЦТ излучения, тем большую часть в его спектре составляют короткие длины волн, и тем больше передаваемая поверхности экспоната энергия. Соответственно, при прочих равных, более низкие значения цветовой температуры более предпочтительны с точки зрения сохранности музейных предметов.

Следует помнить, что человеческое восприятие цвета адаптивно. Поэтому свет с одной и той же цветовой температурой при более теплом окружающем освещении будет восприниматься синеватым, и наоборот, при более холодном – желтоватым. По этой причине не рекомендуется использовать различные цветовые температуры в одном зале, если это не является частью задуманного художественного оформления.

На практике производителями указывается не точное, а **номинальное значение КЦТ**. Действующий на сегодняшний день ГОСТ 34819-2021 устанавливает для светодиодных источников света следующий ряд значений: 2700 К, 3000 К, 3500 К, 4000 К, 4500 К, 5000 К, 5700 К, 6500 К. На Рис. 18 представлен фрагмент цветовой диаграммы МКО 1931 с нанесенными на него четырехугольниками допустимых отклонений для каждого из установленных номинальных значений КЦТ. Если точка, определяемая координатами цветности (x, y) исследуемого источника света, попадает в один из четырехугольников, то этому источнику присваивается соответствующее номинальное значение КЦТ.

Используемые значения допустимых отклонений изначально рассчитывались для люминесцентных ламп. Применение таких допусков для светодиодов приводит к ситуации, когда цвет источников света с одной и той же номинальной КЦТ может иметь существенные визуальные различия. По мере эксплуата-

ции и, следовательно, неизбежной деградации светодиодов, эти различия могут усиливаться. Понимая эту проблему, производители используют такой инструмент как биновка на основе эллипсов МакАдама.

Эллипсы МакАдама (McAdam Ellipses, SDCM) – это система оценивания различия цветов, представляющая серию концентрических эллипсов на графике МКО 1931. Размер эллипсов соответствует экспериментально полученным пороговым значениям (шагам) обнаружения цветового различия. Чем меньше шагов, тем менее заметно различие. Разме-

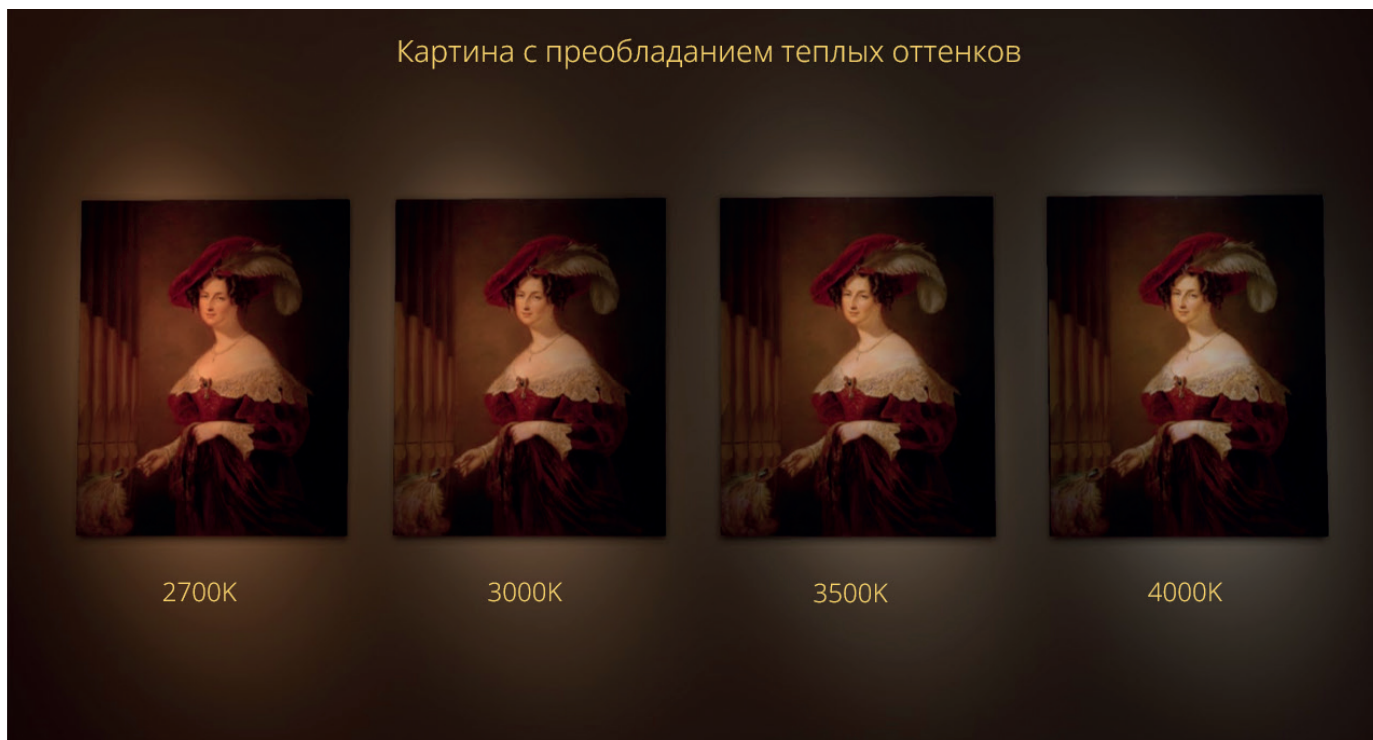


Рис. 16. Визуализация изменения облика картины с преобладанием теплых тонов при освещении источниками света различной цветовой температуры

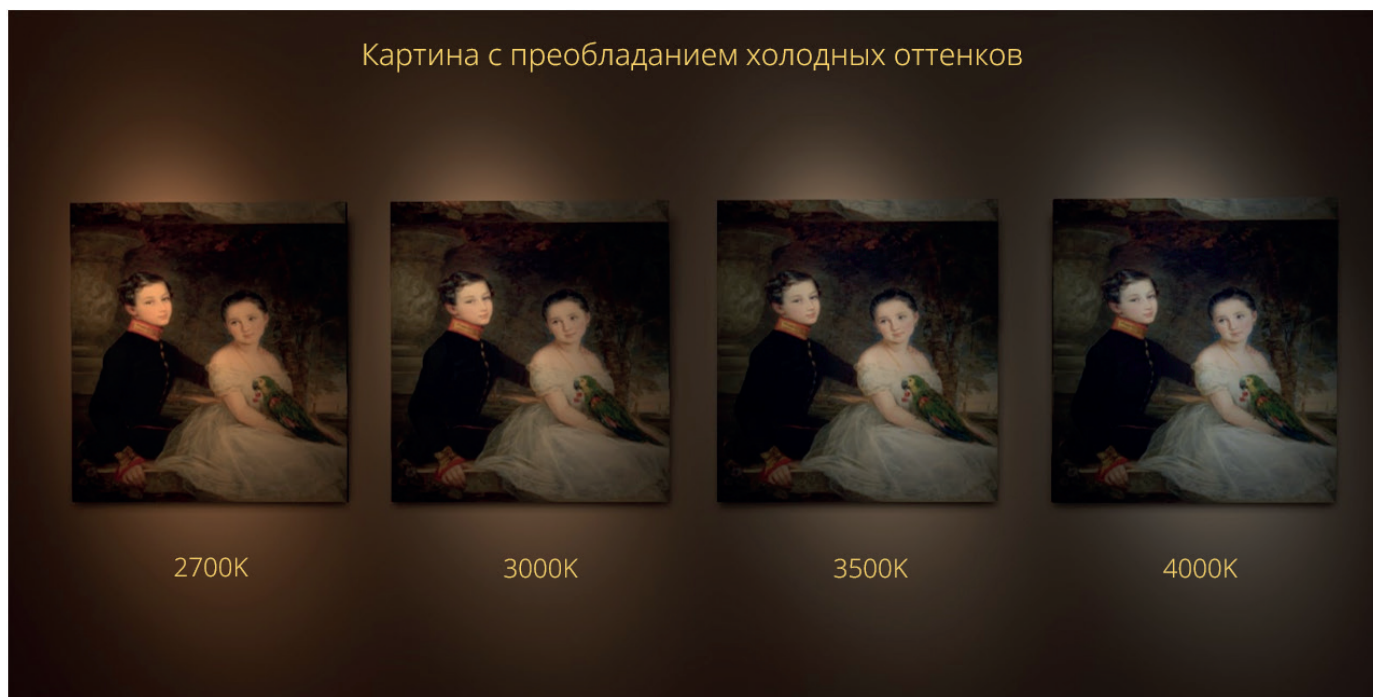


Рис. 17. Визуализация изменения облика картины с преобладанием холодных тонов при освещении источниками света различной цветовой температуры

ры четырехугольников на графике выше коррелируют с 7-шаговыми эллипсами (7-SDCM), что означает существенную разницу в цвете. Для музейного же освещения рекомендуется опираться на значение 3-SDCM как максимальное.

Биновка – процесс сортировки светодиодов по группам – бинам – при производстве, исходя из их ко-

ординат цветности и (или) светового потока. Различные производители используют различные системы биновки для разных моделей светодиодов (Рис. 19).

При проектировании освещения экспозиционного зала важно, чтобы все используемые осветительные приборы одного и того же типа имели источники света из одного бина или комбинации бинов. Реко-

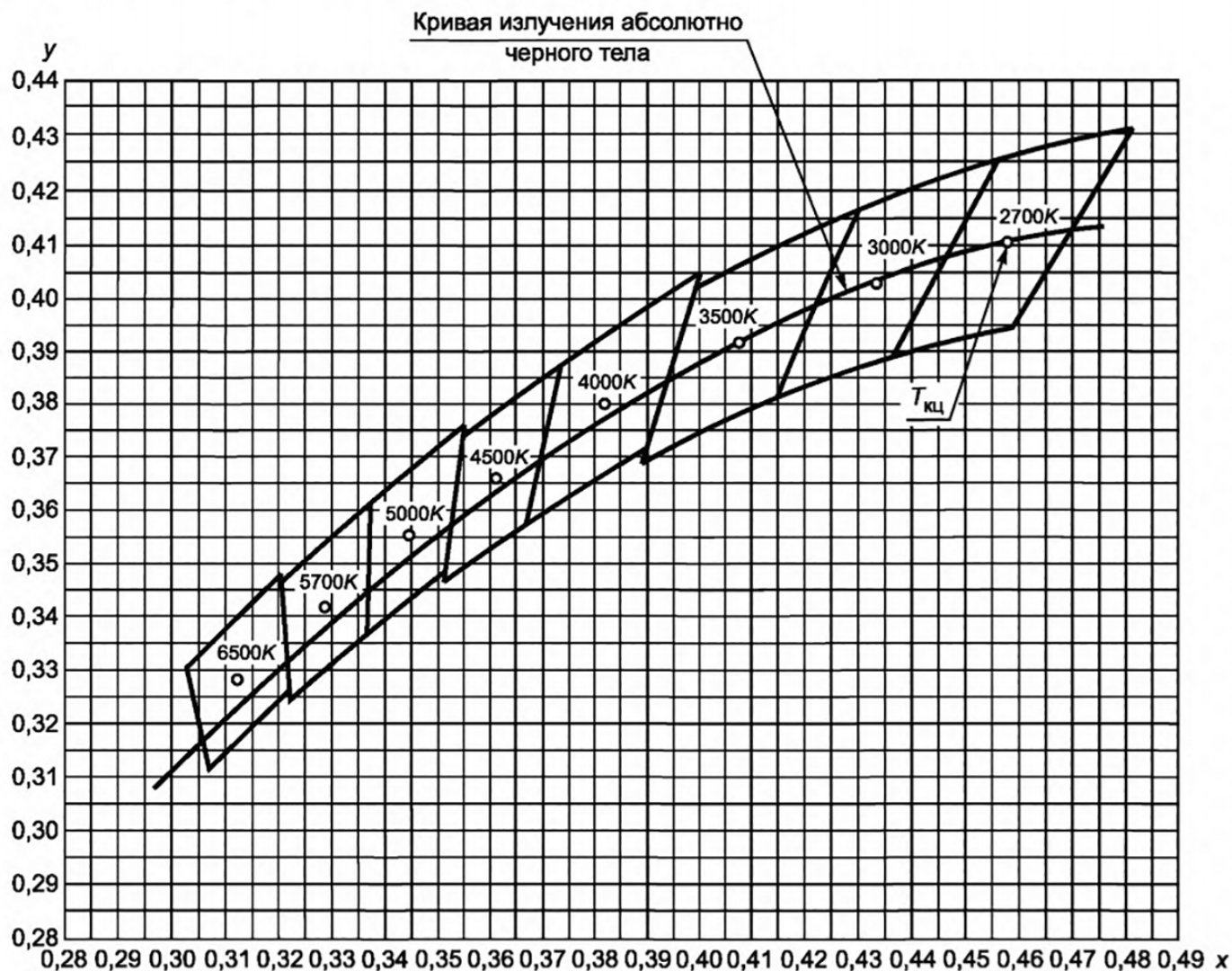


Рис. 18. Нормировка значений КЦТ согласно ГОСТ 34819-2021

мендуется избегать использования осветительных приборов разных производителей там, где важно достичь полного визуального единства.

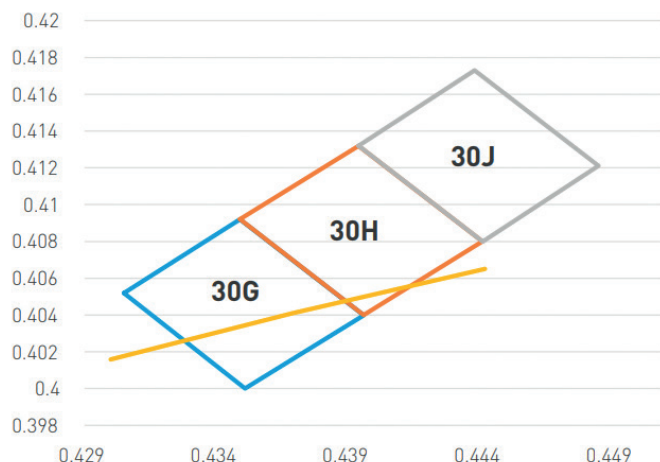


Рис. 19. Пример биновки светодиодов компанией Arlight

Duv (дельта ю ви) – это показатель, позволяющий определить, как близко и с какой стороны от линии черного тела расположена точка, задаваемая координатами цветности исследуемого излучения. Положительные значения *Duv* означают, что точка цветности лежит выше кривой черного тела и свет имеет зеленоватый оттенок. Отрицательные значения, соответственно, говорят о смещении цветности в пурпурную часть спектра. Чем ближе значение *Duv* к нулю, тем качественнее белый свет. Общепринятым стандартом в мировой практике считается диапазон значений *Duv* от $-0,006$ до $+0,006$. Однако для более требовательных областей применения, таких как музейное освещение, рекомендуется опираться на диапазон от $-0,003$ до $+0,003$.

Цветопередача – это понятие, характеризующее влияние спектрального состава источников света на зрительное восприятие цветов освещаемых ими объектов.

Индекс цветопередачи (Color Rendering Index, CRI) – первая и общепринятая на сегодняшний день система оценки цветопередачи источников света,



Рис. 20. Изменение красного цвета при различных значениях частного индекса цветопередачи R9 (показано условно для наглядности)

разработанная МКО в середине XX века. В основе устанавливаемого CRI метода лежит оценка цветовых сдвигов при освещении тестовых образцов исследуемым источником света и эталонным – лампой накаливания или солнечным светом. Всего МКО устанавливает 15 тестовых образцов: 8 основных и 7 дополнительных.

Частные индексы цветопередачи (R_i) рассчитываются для каждого цветового образца отдельно.

Общий индекс цветопередачи (R_a) выводится из 8 основных образцов, не учитывая дополнительные, и может принимать значения от 0 до 100. Именно значения общего индекса цветопередачи регламентируются действующими на сегодняшний день стандартами.

Наиболее значимым частным индексом цветопередачи принято считать индекс R9, характеризующий способность источника света корректно передавать насыщенный красный цвет (Рис. 20). Особое внимание именно к этому индексу обусловлено не только важностью красного для качественной передачи оттенков кожи и красок, но и физикой источников света, например люминофорных светодиодов, в спектре которых красный цвет зачастую отсутствует. При этом значение R_a у таких источников света может быть достаточно высоким. Значения R9 не регламентируются стандартами, но можно ориентироваться на значения 50 и 90 как «хорошее» и «от-

личное» соответственно. Повышение значения R9 (и уровня цветопередачи в принципе) всегда означает удорожание производства и уменьшение световой отдачи источников света.

Индекс цветопередачи измеряется с помощью спектрометра.

Система CRI в последнее время считается не показательной. Это связано с малым количеством образцов, которые не охватывают весь возможный спектр цветов и оттенков. В настоящее время разрабатываются и тестируются новые системы определения индекса передачи цвета, с большим количеством образцов.

Система CQS (Color Quality Scale) строится на том же принципе сравнения оцениваемого источника света с эталонным, что и CRI. Однако существует ряд значимых отличий. Так, для оценки значения CQS в качестве образцов используются другие, более насыщенные, чем в CRI, цвета (Рис. 21). При этом для расчета общего индекса используются все 15 образцов, а не только 8 основных. Отличается и расчетная формула, исключая возникновение отрицательных значений, а также сохранение высокого значения общего индекса при низком значении одного из частных индексов.

TM-30 – это наиболее современный метод оценивания цветопередачи, разработанный Североамериканским светотехническим обществом (IES) в

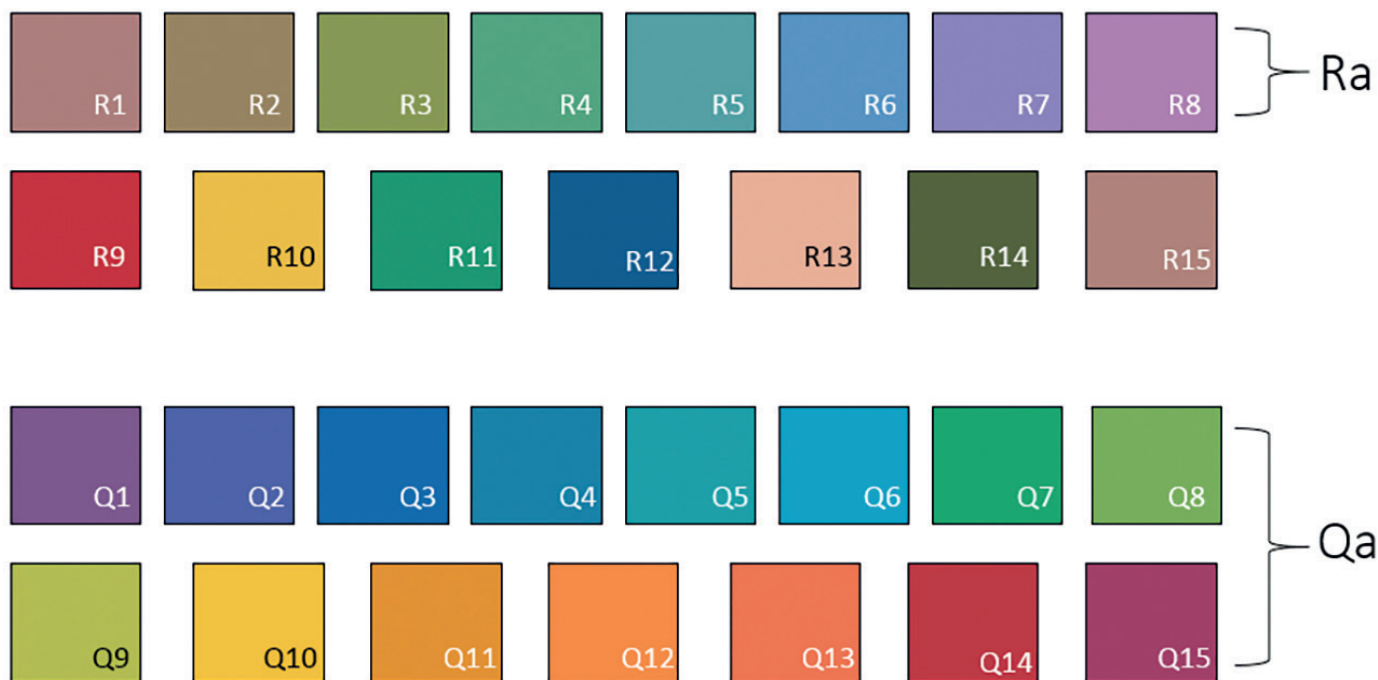


Рис. 21. Сравнение цветовых образцов, используемых для расчета общего индекса цветопередачи в CRI (сверху) и в CQS (снизу).

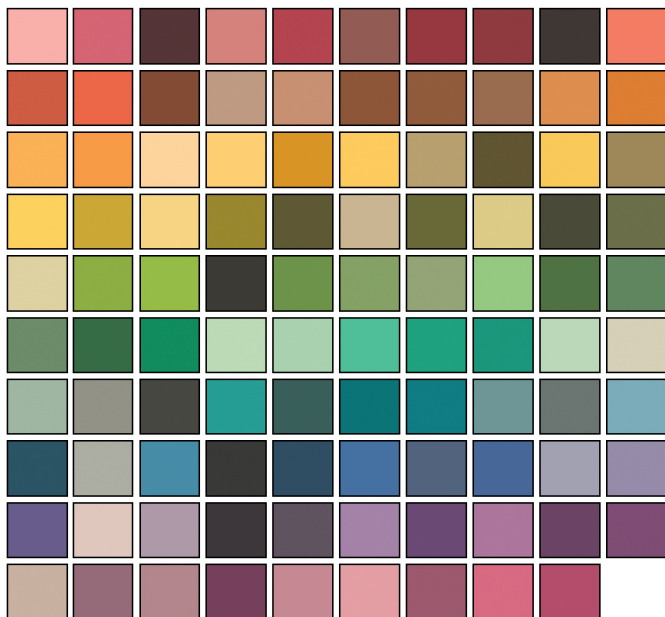


Рис. 22. Визуализация цветовых образцов, используемых в TM-30

2015 году (*IES TM-30-15*). Позднее стандарт дорабатывался и повторно публиковался под обозначением

ми *ANSI/IES TM-30-18* и *ANSI/IES TM-30-20*, без принципиальных изменений. Последняя версия является актуальной на сегодняшний день. Метод включает в себя оценку двух параметров:

R_f – Точность цвета (Color fidelity index). Несет тот же смысл, что общий индекс цветопередачи R_a в CRI, но рассчитывается на основании 99 цветовых образцов (Рис. 22).

R_g – Цветовая гамма (Color gamut index). Этот параметр характеризует насыщенность цвета, и может принимать значения как более, так и менее 100 (обычно значение R_g лежит в пределах от 80 до 120).

Так же, как и в других методах оценки цветопередачи, два источника света с одинаковыми значениями индексов R_f и R_g в действительности могут по-разному передавать те или иные оттенки. По этой причине, помимо указанных выше параметров, стандарт TM-30 также предусматривает векторные диаграммы, наиболее подробно отражающие особенности передачи тех или иных цветов (Рис. 23).

В настоящее время нормативно регулируется только значение общего индекса цветопередачи R_a . Тем не менее, при выборе оборудования необходимо также обращать внимание на частный индекс цветопереда-

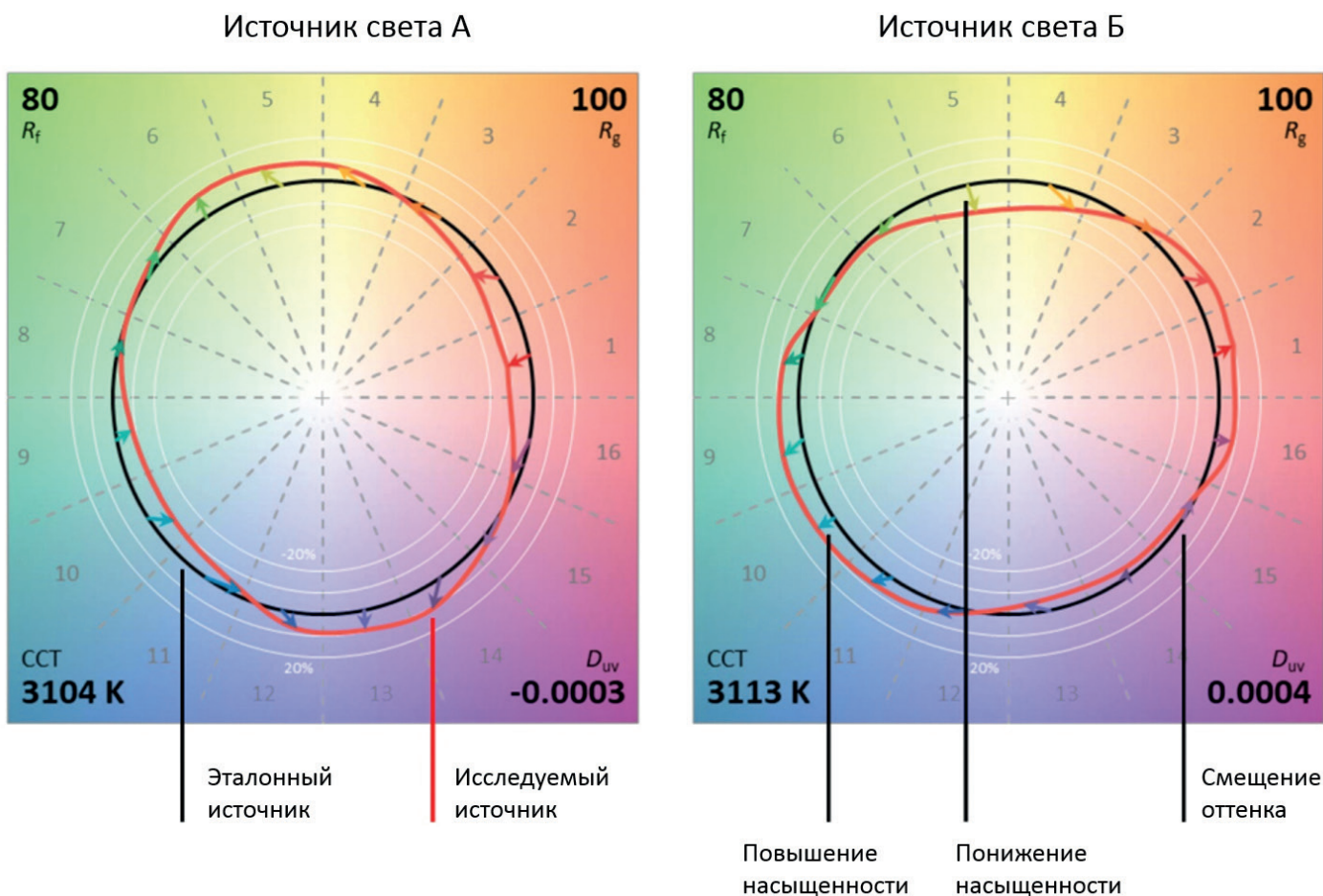


Рис. 23. Векторные диаграммы TM-30 для двух источников света с одинаковыми значениями R_f (80) и R_g (100)⁹

⁹ Michael P. Royer (2022) Tutorial: Background and Guidance for Using the ANSI/IES TM-30 Method for Evaluating Light Source Color Rendition, LEUKOS, 18:2, 191-231, DOI: 10.1080/15502724.2020.1860771

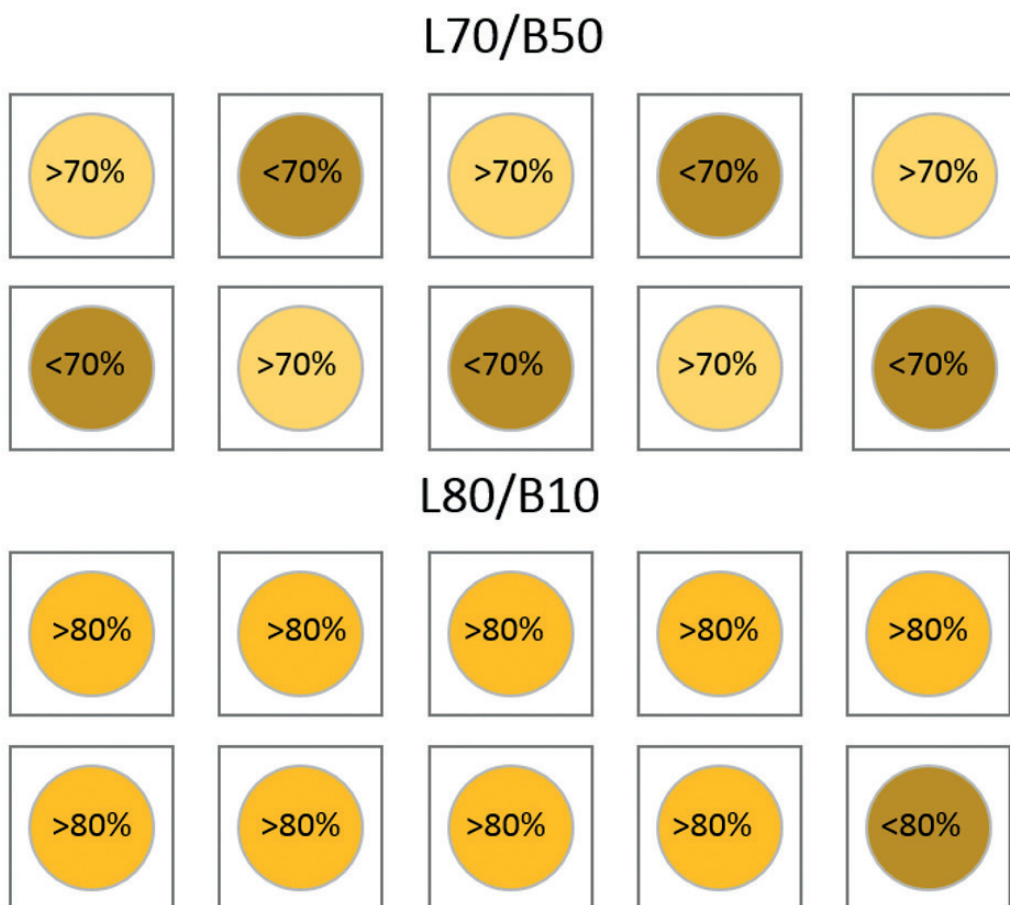


Рис. 24. Отличия между стандартами L70/B50 и L80/B10 наглядно

чи R9. Оценка цветопередачи методами CQS и TM-30 не обязательна, но рекомендуется, при наличии технической возможности, с целью получения более объективного представления о цветопередаче. Более того, индекс Rf был одобрен и принят МКО (CIE 224-2017), и, возможно, официально заменит Ra в будущем.

Цветность источника света. Иногда в описании или артикуле оборудования содержится численный показатель, содержащий информацию как о цветовой температуре, так и об общем индексе цветопередачи. Первая цифра указывает на общий индекс цветопередачи. Оставшиеся две – на цветовую температуру. Показатель может выглядеть так: 827, 930, 740 и так далее. Соответственно первый обозначает Ra 80 и КЦТ 2700 К, второй – Ra 90 и КЦТ 3000 К, третий – Ra 70 и КЦТ 4000 К.

5.3.

Эксплуатационные параметры

Ресурс – суммарная наработка источника света или осветительного прибора от начала его эксплуатации (от первого включения) или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния. Измеряется в часах.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации оборудования от ее начала или возоб-

новления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния. Измеряется в годах или днях.

Часто в технической документации ресурс обозначается как срок службы, что является терминологической ошибкой. Ресурс источника света обусловлен качеством его компонентов и законами физики. Тогда как срок службы зависит от ресурса и от режима эксплуатации. Например, если ресурс источника света составляет 50 000 часов, можно сосчитать, что, при включении его в среднем по 9 часов в день, срок его службы составит приблизительно 15 лет.

Спад светового потока. Для светодиодного оборудования дополнительно используются такие параметры как *L* и *B*. Первый обозначает остаточный относительный уровень светового потока светильника по истечении указанного производителем срока службы, второй – процент оборудования, световой поток которого по истечении срока службы может быть ниже указанного *L*, и (или) оборудования, вышедшего по истечении этого срока из строя. Таким образом, если в паспорте светильника указано, например: 50 000h-L80-B10, это означает, что, по истечении 50 000 часов работы 90 % светильников сохраняют 80 % изначального светового потока, в то время как 10 % либо выйдут из строя, либо будут светить с меньшей

¹⁰ Наиболее высоким стандартом считается L90/B10

интенсивностью (Рис. 24). Если данные параметры в паспорте не указаны, то принято считать значения *L* и *B* как 70 и 50 соответственно. Однако для светодиодов предпочтительным является стандарт L80/B10, говорящий о высоких показателях надежности и качества¹⁰.

Рабочая температура. Температурный режим является важнейшим фактором, влияющим на параметры источников света, в особенности светодиодов. В технической документации обычно указывается достаточно широкий диапазон рабочих температур. Тем не менее важно понимать, что большинство характеристик даются для определенной температуры, например 25 °С. Увеличение температуры отрицательно сказывается на ресурсе и сроке службы светильника, а также может влиять на спектр излучаемого света.

Код IP – это показатель, характеризующий уровень защищенности электрооборудования от проникновения внешних твердых предметов (в том числе пыли) и влаги (воды). Расшифровка кода IP приведена в таблице 3. Для уличного освещения необходимо использовать светильники с как можно более высокой сте-

пенью защиты (IP65 и выше), тогда как для сухих и чистых внутренних помещений достаточно минимальной защиты от проникновения твердых предметов (IP20).

Код IK характеризует ударопрочность корпуса оборудования по шкале от IK00 до IK10, где IK00 – отсутствие защиты от ударов, а IK10 – защита от удара энергией 20 Дж (Таблица 4). Таким образом, маркировка IK10 означает, что прибор массой 1 кг выдержит падение с высоты 2 м. На значение IK следует обращать внимание при расположении осветительного оборудования в зонах с повышенным риском механических повреждений, подразумевающих возможность физического доступа посетителей музея, контакта с работающей техникой, а также при расположении оборудования на улице.

Класс защиты от поражения электрическим током – это система обозначения способов и степени обеспечения электрической безопасности при пользовании электрическим оборудованием (в том числе – осветительным). Применяемые классы и их обозначения приведены в таблице 5.

Таблица 3. Расшифровка кода IP согласно ГОСТ 14254-2015

Первая цифра	Защита от проникновения внешних твердых предметов	Вторая цифра	Защита от вредного воздействия в результате проникновения влаги (воды)
0	Нет защиты	0	Нет защиты
1	Диаметром ≥ 50 мм	1	Защищено от вертикально падающих капель воды
2	Диаметром $\geq 12,5$ мм	2	Защищено от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на 15°
3	Диаметром $\geq 2,5$ мм	3	Защищено от воды, падающей в виде дождя
4	Диаметром $\geq 1,0$ мм	4	Защищено от сплошного обрызгивания
5	Пылезащищенное	5	Защищено от водяных струй
6	Пыленепроницаемое	6	Защищено от сильных водяных струй
-	-	7	Защищено от воздействия при непродолжительном погружении в воду
-	-	8	Защищено от воздействия при длительном погружении в воду
-	-	9	Защищено от горячих струй воды под высоким давлением

Таблица 4. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками от наружного механического удара согласно ГОСТ IEC 62262-2019

Код IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Энергия воздействия, Дж	-	0,14	0,20	0,35	0,50	0,70	1,00	2,00	5,00	10,00	20,00

Таблица 5. Классы защиты оборудования от поражения электрическим током согласно ГОСТ Р 58698-2019

Класс	Описание	Обозначение
0	Защита обеспечивается только за счет основной изоляции	нет
I	Защита обеспечивается основной изоляцией и соединением открытых проводящих частей, доступных прикосновению, с защитным проводником стационарной проводки (заземлением).	
II	Защита обеспечивается применением двойной или усиленной изоляции.	
III	Защита обеспечивается за счет питания оборудования от источника безопасного сверхнизкого (до 48 В) напряжения.	

6

РАЗДЕЛ

Основные типы осветительных приборов, используемых в экспозиционном освещении



6.1.

Светильники

Музейное освещение – это широкое понятие, включающее в себя освещение музейных предметов, выставочных помещений и вспомогательных помещений музеев, реставрационных мастерских и фондохранилищ. Данный раздел посвящен только той части музейного освещения, которая предназначена для освещения экспонатов – *экспозиционному освещению*.

Опуская различия в используемых источниках света, экспозиционные светильники можно классифицировать по двум признакам: способу установки и светораспределению.

С точки зрения способа установки можно выделить *встраиваемые (recessed)*, *накладные (surface-mounted)*, и *трековые (track-mounted)* светильники.



Рис. 25. Различные варианты исполнения прожектора Aledo Sonic 93 Artspot, слева направо: встраиваемый, накладной, трековый

Тип светораспределения светильника определяется его задачей. Можно выделить следующие условные группы приборов:

- **Spot** – прожекторы с узким лучом (обычно с углом раскрытия до 30 градусов). Такие приборы можно использовать для создания акцента или для освещения с большого расстояния.
- **Flood** – прожекторы заливающего света с углом раскрытия до 120 градусов. Используются для освещения больших поверхностей, а также при необходимости размещения светового прибора близко к освещаемому им объекту.
- **Zoom Spot** – прожекторы с переменным углом раскрытия луча.
- **Wall-washer** – светильники со специальной асимметричной оптикой, позволяющей равномерно залить светом освещаемую ими плоскость.
- **Frame** – кадрирующий прожектор, оптическая система которого позволяет создавать световое пятно с четким краем, контуры которого регулируются специальными шторками (регулируемой диафрагмой), либо могут быть заданы гобо-трафаретом. Такие прожекторы позволяют осветить картину точно по контуру, не засвечивая стену, или обрезать ненужную часть светового пучка, например, попадающую в площадь дверного проема и создающую зрительный дискомфорт для заходящих в зал посетителей.

Для светильников со сменной оптикой (отражателями или линзами) существуют буквенные обозначения ширины луча, перенятые от галогенных ламп накаливания с отражателем:

- VNSP (Very Narrow Spot)** – очень узкое пятно ($<5^\circ$);
- NSP (Narrow Spot)** – узкое пятно ($<10^\circ$);
- SP (Spot)** – пятно ($10\text{--}20^\circ$);
- FL (Flood)** – заливающий свет ($25\text{--}35^\circ$);
- WFL (Wide Flood)** – широкий заливающий свет ($>45^\circ$);
- VWFL (Very Wide Flood)** – очень широкий заливающий свет ($>80^\circ$).

6.2.

Шинопровод

Способ монтажа осветительных приборов в трек (шинопровод) получил наиболее широкое распространение благодаря предоставляемой им гибкости. Однако стоит отметить, что на рынке представлено множество вариантов шинопроводов, отличающихся друг от друга как количеством фаз, так и размерами и конфигурацией. Это означает, что не всегда прибор одной фирмы можно подключить к треку другой фирмы, и важно обращать внимание на их совместимость. Адаптер, при помощи которого светильник крепится к треку, является сменной частью светильника и при необходимости может быть заменен на адаптер другого типа.

Общепринятым международным стандартом считаются 1-фазный и 3-фазный треки Global. Однофазные шинопроводы имеют 2 жилы – фазу и ноль. Они позволяют включать все светильники на шинопроводе одновременно. Трехфазная шина имеет 4 жилы, одна из которых – ноль, а остальные три – фазы. Такая система позволяет организовать три отдельных контура – три группы светильников с возможностью их включения от трех независимых выключателей.

Как видно на Рис. 28, «трехфазный» трек может также использоваться как однофазный с управлением.



Рис. 26. Светильники на шинпроводе

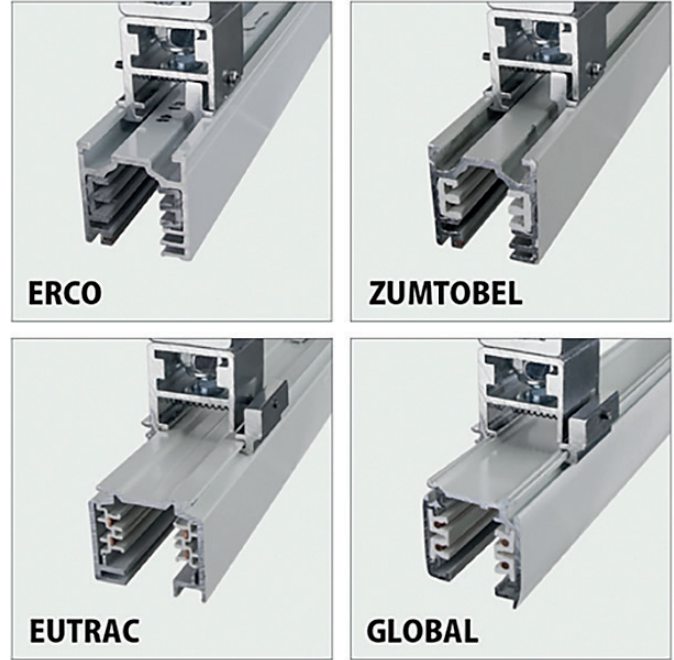


Рис.27. Трехфазные осветительные треки распространенных производителей в разрезе

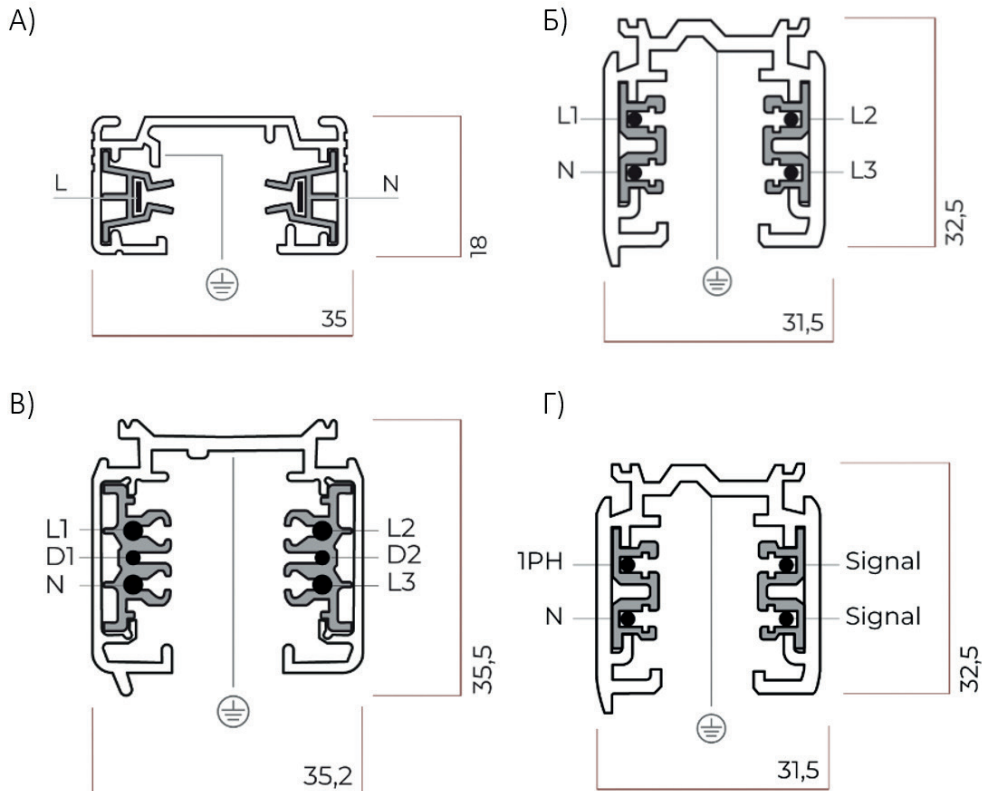


Рис. 28. Разрезы типовых осветительных шинпроводов:
 А – однофазный;
 Б – трехфазный;
 В – трехфазный с управлением;
 Г – однофазный с управлением¹¹.

¹¹ aledo | световые инструменты для профессионалов (aledo-pro.ru)

6.3.

Аксессуары для экспозиционного осветительного оборудования

1. *Антибликовые аксессуары.* К этой группе аксессуаров можно отнести всевозможные козырьки, бленды, тубусы, шторки и решетки. Функция их состоит в ограничении краев светового пятна, в частности, паразитной засветки. Применение таких аксессуаров позволяет свести к минимуму зрительный дискомфорт, вызываемый освещением, а также выполнить более точную настройку освещения, убрав засветку с тех областей, где свет не нужен.

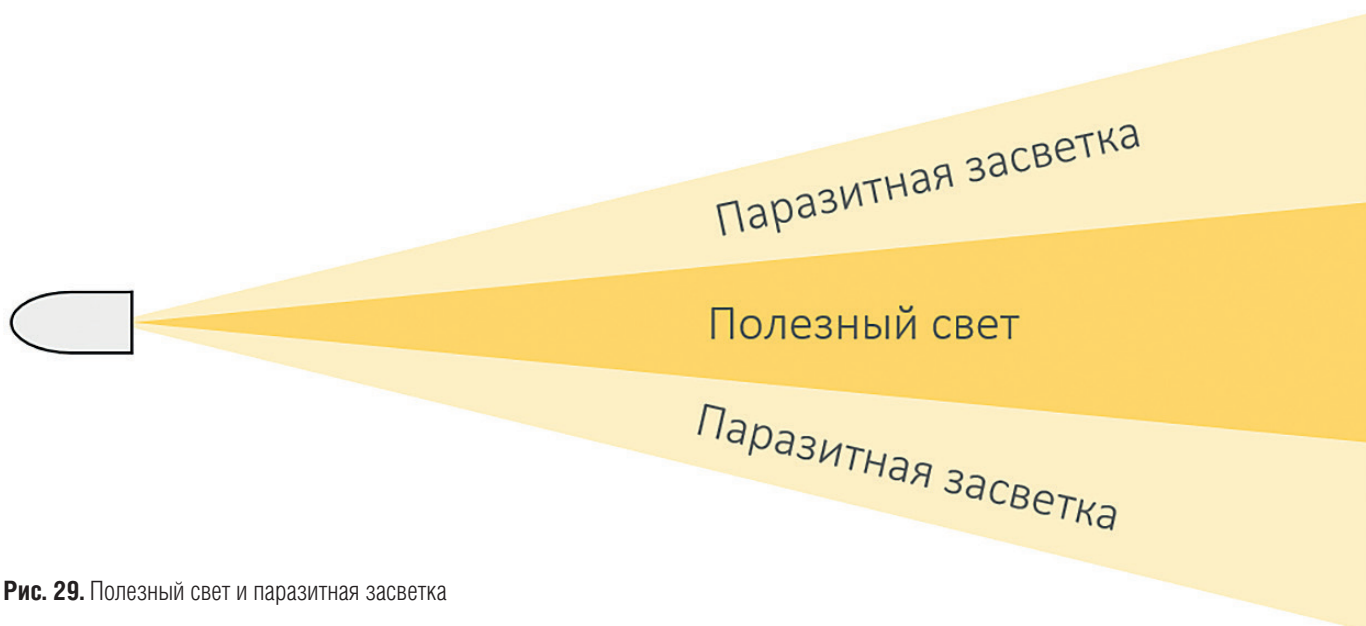


Рис. 29. Полезный свет и паразитная засветка

2. *Овалорисующие линзы.* Это специальные дополнительные линзы, позволяющие преобразовать круглое световое пятно в овальное. Такие линзы находят применение в освещении скульптур, архитектурных элементов или вытянутых картин. Применение в сочетании с овалорисующими линзами антибликовых аксессуаров часто приводит к тому, что форма овального пятна нарушается. По этой причине многими производителями исключается возможность совместной установки этих аксессуаров, и при планировании освещения приходится выбирать между овальным пятном и снижением ослепляющего эффекта.

3. *Светофильтры.* Не беря во внимание цветные светофильтры, служащие для создания художественных эффектов, можно выделить следующие типы светофильтров, находящих применение в экспозиционном освещении. Это коррекционные,

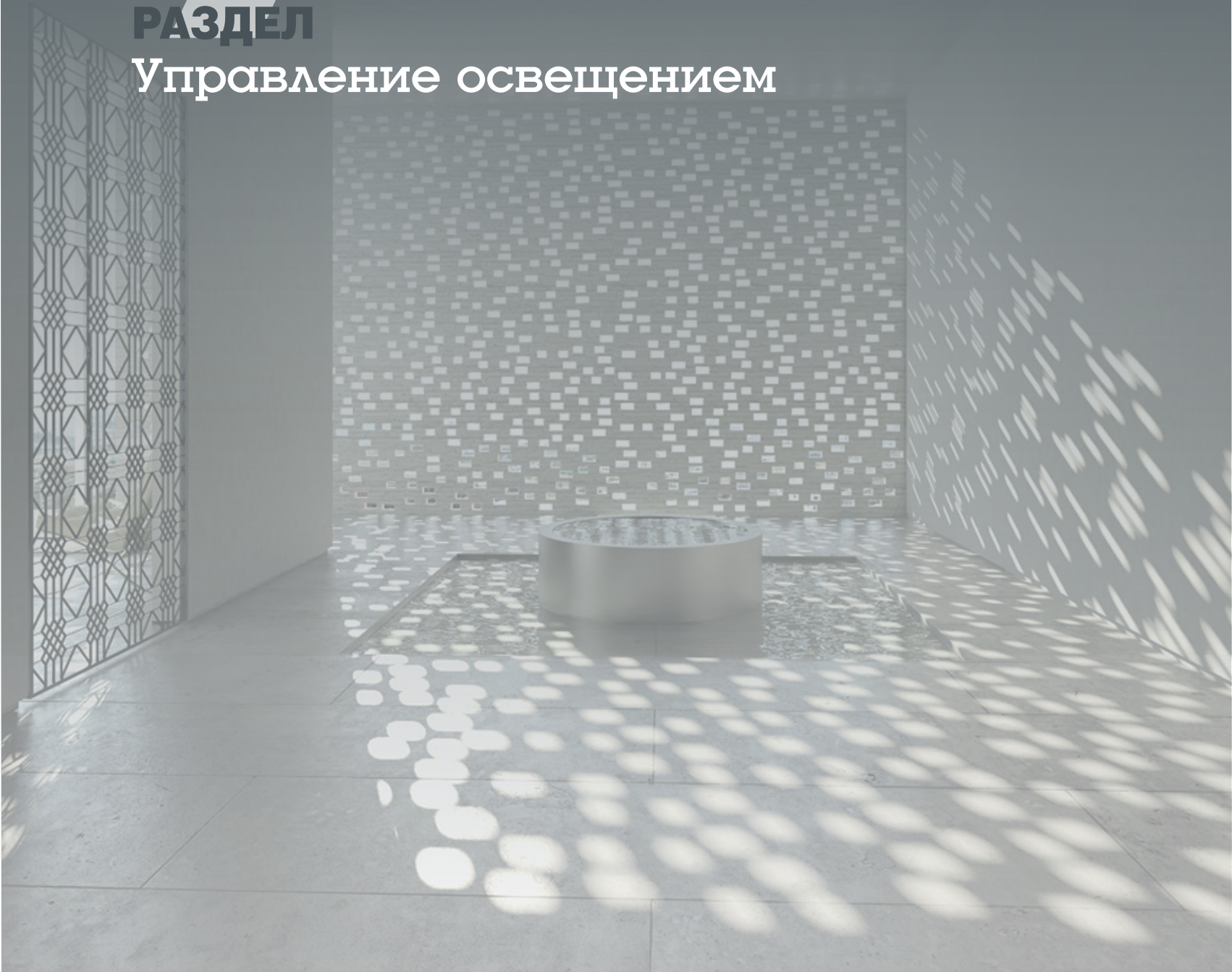
нейтральные и диффузные светофильтры. Задача коррекционного светофильтра – изменить спектр излучения источника света в зависимости от задачи. Например, повысить или понизить цветовую температуру, ограничить УФ или ИК части спектра. Нейтральные светофильтры позволяют снизить световой поток источника света, не влияя на спектр. Диффузные, также называемые фрост-фильтрами, позволяют рассеять свет, добившись большего пятна света с более мягкими краями.

Абсолютно все светофильтры заметно снижают световой поток. При этом все светофильтры, даже нейтральные, имеют свой спектр пропускания, рас-

считанный для работы с определенным типом источника света. Поэтому светофильтры для галогенных ламп, при использовании со светодиодными или газоразрядными источниками света будут работать некорректно, и наоборот. В частности, может ухудшаться цветопередача, что недопустимо для экспозиционного освещения. Также светофильтры имеют свойство деградировать и выцветать под воздействием поглощаемого ими излучения, и требуют частой замены. Поэтому светофильтры целесообразно применять для временных выставок, но при планировании постоянной экспозиции следует подбирать такое оборудование, которое не будет требовать дополнительной коррекции. Исключением из вышеуказанных правил можно считать фрост-фильтры, не оказывающие заметного влияния на спектр, и не теряющие своих ключевых свойств от воздействия света.

РАЗДЕЛ

Управление освещением



7.1.

Физические принципы диммирования

Диммирование – это возможность регулирования светового потока источника света. Диммирование позволяет настраивать освещенность экспонатов, помогает обеспечивать их сохранность. Возможность диммирования наиболее значима для оборудования, предназначенного для освещения временных экспозиций, подразумевающих различные требования к освещенности. Подробнее о способах диммирования рассказано далее.

светодиодных ламп и светильников, блоки питания которых представляют собой реактивную нагрузку. Поэтому позже был разработан способ *отсечки фазы по заднему фронту* – *trailing edge dimming* – осуществляемый при помощи полевых транзисторов (часто обозначается как MOSFET). Такой способ диммирования наиболее предпочтителен для светодиодных приборов. В настоящее время существуют светодиодные приборы с драйверами, поддерживающими диммирование как по переднему, так и по заднему фронту. Однако в большинстве случаев, драйверы поддерживают диммирование именно по заднему фронту.



Рис. 30. Способы диммирования

Изменение напряжения переменного тока, питающего световой прибор – это наиболее очевидный и понятный способ диммирования: чем ниже напряжение, тем тусклее светит лампа. Однако, такой способ подходит только для ламп накаливания, а его реализация подразумевает использование громоздких и низкоэффективных трансформаторов или реостатов. Поэтому на практике такой способ диммирования не используется.

Отсечка фазы является гораздо более эффективным способом диммирования, традиционным видом которого является *leading edge dimming* – отсечка по переднему фронту. Такое диммирование осуществляется при помощи полупроводниковых приборов – тиристора или, чаще, симистора (отсюда обозначение TRIAC), работающих в режиме ключа. Открываясь и закрываясь, диммер «отсекает» часть синусоиды. Таким образом, до источника света доходит меньшее количество тока за единицу времени, следовательно, интенсивность свечения снижается.

Отсечка передней части синусоиды означает мгновенный рост и постепенное уменьшение напряжения на диммируемом источнике света. Это оказалось проблемой при появлении в обиходе люминесцентных и

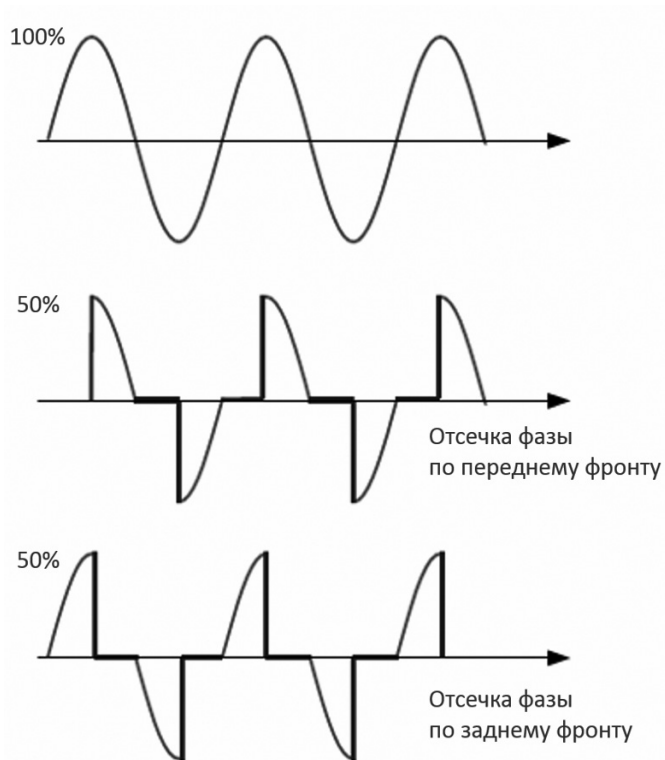


Рис. 31. Отсечка фазы по переднему и по заднему фронту

Несовместимость драйвера светового прибора и диммера (например, включение светильника, поддерживающего trailing edge в линию с обычным leading edge диммером) может привести к преждевременному выходу из строя как драйвера, так и диммера.

Таблица 6. Совместимость диммера и нагрузки

Тип диммирования	Допустимый тип нагрузки
По переднему фронту	R, L
По заднему фронту	R, C

Описанные выше способы диммирования подразумевают управление переменным током. Однако в современных реалиях основным источником света становится светодиод, питаемый постоянным током, и к сети переменного тока подключаемый посредством драйвера. Соответственно, *диммируемость* светодиодного светильника в описанных выше случаях означает способность драйвера декодировать изменения приходящего на него переменного тока.

Исторической особенностью люминофорных светодиодов является заметное изменение цвета свечения в зависимости от величины поступающего на них тока: чем больше ток, тем свет синее, чем меньше – тем желтее. Это одна из причин, по которой блоки питания светодиодов – драйверы – всегда стабилизируются по току. Задача изменения светового потока светодиода без изменения протекающего через него тока реша-

ется при помощи *ШИМ (PWM) – широтно-импульсной модуляции*. При таком способе диммирования, протекающий через светодиод ток может принимать одно из двух дискретных значений. Иначе говоря, светодиод включается и выключается с большой частотой. Чем меньше время включения светодиода, тем меньшее количество света он испускает за период. Частота ШИМ достаточно высока, чтобы человеческий глаз не замечал пульсации. Однако во избежание негативного воздействия пульсации на нервную систему, необходимо удостовериться, что частота ШИМ составляет не менее 300 Гц. Эта информация может быть найдена в техническом паспорте оснащенного функцией ШИМ драйвера или светильника. Важно заметить, что использование ШИМ, особенно на сильном уровне диммирования, в некоторых случаях может повлечь возникновение стробоскопического эффекта, заметного при съемке на бюджетные камеры в виде бегущих по изображению черных полос.

Вместе с тем, по мере развития технологий, становится возможным регулирование светового потока светодиода посредством изменения тока без возникновения заметных хроматических искажений. Такой способ называется снижением постоянного тока и обозначается как *CCR (Constant Current Reduction)*. Основным преимуществом данного метода перед ШИМ является значительно меньший уровень создаваемых им электромагнитных помех. Следовательно, такие драйверы энергетически более эффективны и менее вредны для сети питания.

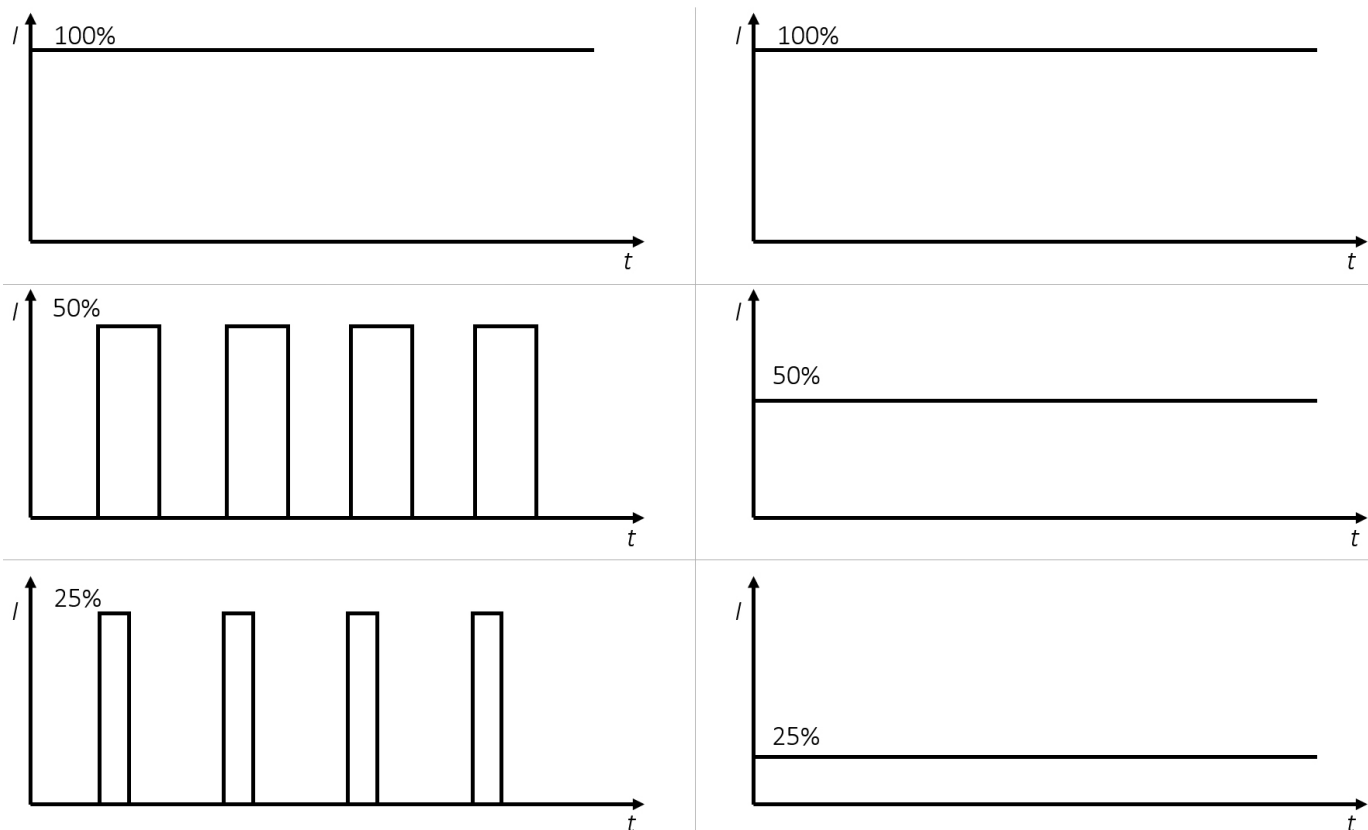


Рис. 32. Диммирование методом широтно-импульсной модуляции (слева), и снижением постоянного тока (справа)

Таблица 7. Сравнение особенностей PWM и CCR ^{12 13}

ШИМ	CCR
возможны проблемы с пульсацией	не вызывает дополнительных пульсаций
диммирование вплоть до 0%	диммирование только до 10%
снижает светотдачу	не влияет на светотдачу
цветовые искажения исключены	цветовые искажения возможны
вызывает электромагнитные помехи	не вызывает электромагнитные помехи

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод, что в общем случае следует отдавать предпочтение CCR, поскольку такой метод диммирования вызывает меньшие нагрузки на электрическую сеть. Использование ШИМ может быть целесообразно при освещении экспозиций, требующих максимальную цветопередачу и точную настройку освещенности. В случае же необходимости регулировки освещения общих пространств (фойе, лестниц, коридоров и т. д.), целесообразнее использование CCR.

Производители не всегда указывают в документации, какой именно способ диммирования используется в их изделии, а в оборудовании высокого класса могут использоваться оба этих метода одновременно: сначала используется CCR, а затем, на низких процентах интенсивности, используется уже ШИМ. При этом для пользователя этот переход остается незаметным.

7.2. Системы управления освещением

Простейшей системой управления световым прибором или группой световых приборов является обыкновенный выключатель. Функционально выключатель располагается между ЩО и потребителем. Фактически чаще всего располагается в непосредственной близости относящихся к нему осветительных приборов. Использование выключателя позволяет упростить эксплуатацию осветительной установки, исключая для персонала необходимость открывать щит освещения всякий раз, когда требуется изменить текущее освещение зала.

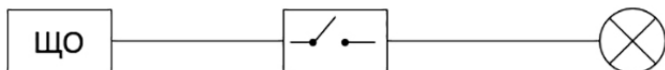


Рис. 33. Условная схема системы освещения с выключателем

Следующей стадией является *фазовый диммер*. Функциональное и физическое расположение диммера такое же как у выключателя. Диммер следует располагать так, чтобы использующий его человек

мог видеть относящиеся к нему осветительные приборы. Это важное условие для упрощения процесса настройки освещенности.

Диммер меняет осциллограмму напряжения по всей следующей за ним линии. Соответственно, такой способ управления исключает адресность. Если нужно управлять несколькими группами приборов отдельно, нужно использовать несколько диммеров.



Рис. 34. Условная схема системы освещения с диммером

Лампы накаливания работают с фазовым диммером безотказно. В случае же работы со светодиодами, необходимо учитывать поддержку диммирования (диммируемость) используемых драйверов. Важно заметить, что в таком случае обрезанная по фазе синусоида переменного тока будет также являться сигналом управления, считываемым драйвером, а снижение светового потока светодиодов будет осуществляться при помощи ШИМ или CCR.

0-10 В и 1-10 В – так обозначаются аналоговые протоколы управления освещением. Отличительной чертой этого и дальнейших протоколов является то, что они передаются по отдельной линии, не меняя питающее напряжение. Если фазовый диммер, работающий с лампой накаливания, одновременно является и задающим и исполнительным устройством, то здесь и далее устройства используется как минимум два. Задающим является регулятор, а исполнительным – диммер. Протоколы 0-10 В и 1-10 В имеют ряд отличий, но принцип их работы един. Сигнал в виде постоянного тока с напряжением, не превышающим 10 вольт, передается от диммера к устройству. Световой поток диммируемого светильника пропорционален управляющему напряжению, величина которого задается регулятором. Главными недостатками этих протоколов являются:

- односторонность,
- необходимость использования отдельного кабеля для каждого управляемого устройства,
- невозможность программирования сцен.

DALI расшифровывается как *Digital Addressing Lighting Interface*, то есть *Цифровой Адресный Световой Интерфейс*. Этот протокол был разработан для замены аналогового 0-10 В и решает все его недостатки. DALI поддерживает любую конфигурацию сети, кроме конфигурации «кольцо». При помощи одной шины возможно управлять 64 световыми приборами. При использовании дополнительных роутеров это число может быть увеличено до 12 800.

DMX 512 – цифровой протокол управления освещением, разработанный для применения в сценическом освещении. Область применения обуславлива-

¹² <https://www.ledlighting.com/led-pwm-dimming/>

¹³ <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-pwm-leds-pulse-width-modulation-for-dimming-systems-and-other-applications>

ет такие его особенности, как высокая скорость и большое количество каналов: до 512 на одну линию (один светильник может использовать более одного канала). Впрочем, и это число может быть многократно увеличено, если управление осуществляется при помощи сетевых технологий, таких как ArtNet. Один пакет данных DMX включает в себя информацию о каждом из 512-ти 256-битных каналов и транслируется в сеть непрерывно с высокой частотой. Для передачи сигнала DMX традиционно используются экранированные трехжильные кабели с разъемом XLR 5-pin или XLR 3-pin. В настоящее время используется и беспроводная передача, например, при помощи технологии CRMX.

К недостаткам DMX относятся его сравнительно низкая помехоустойчивость и односторонность. Последнее компенсируется протоколом *RDM* (от англ. *remote device management – удаленное обслуживание приборов*), сигнал которого «встраивается» между пакетами DMX. RDM медленнее, но обеспечивает двустороннюю связь между контроллером и управляемым устройством.

Casambi – современный протокол беспроводного управления освещением, использующий Bluetooth. Одна сеть может включать до 127 устройств, однако может масштабироваться. *Casambi* позволяет создавать группы приборов и записывать сцены, поддерживает работу с датчиками, может работать по расписанию. В качестве управляющего устройства для такого протокола может выступать любой смартфон, планшет или ноутбук с установленным необходимым программным обеспечением. Тем не менее, существуют и настенные выключатели, регуляторы и панели управления, так же подключаемые к светильникам через Bluetooth. Недостатком *Casambi* можно назвать небольшой радиус действия: нужно находиться в непосредственной близости к светильникам. Этот недостаток может быть решен использованием шлюза, принимающего сигнал управления через интернет, и передающего его светильникам.

7.3.

Дополнительные элементы и функции

Датчик присутствия – элемент системы управления освещением, который считывает наличие или отсутствие людей в помещении. Это могут быть инфракрасные и ультразвуковые датчики, срабатывающие на движение, или миниатюрные микрофоны, срабатывающие на звук. Существуют и датчики со смешанными технологиями. Датчик присутствия позволяет, с одной стороны, экономить электроэнергию (светильник работает только тогда, когда он необходим для обеспечения видимости), а с другой – сохранять музейные предметы. При использовании таких датчиков в музейных помещениях уменьшается световая экспозиция музейных предметов. Использование датчиков присутствия – хорошее решение

для открытых хранений и экспозиций с низкой проходимостью, где большую часть времени освещение не востребовано. Использовать же такие датчики для экспозиций с постоянным потоком посетителей не рекомендуется, так как в таком случае они могут работать не корректно.

Датчик освещенности – специальный элемент системы управления освещением, считывающий значения освещенности в определенной точке. Используемая датчики система настраивается таким образом, что при изменении считываемой датчиком освещенности, меняется уровень светового потока светильника или группы светильников. Сам датчик может считывать как освещенность вблизи экспоната, так и освещенность в некоторой контрольной точке зала, или же вовсе – быть установленным снаружи здания. Такая технология позволяет сберегать электроэнергию и обеспечивать сохранность экспонатов. Как правило, считываются изменения освещенности, связанные с движением солнца и с изменением интенсивности его излучения в течение дня.

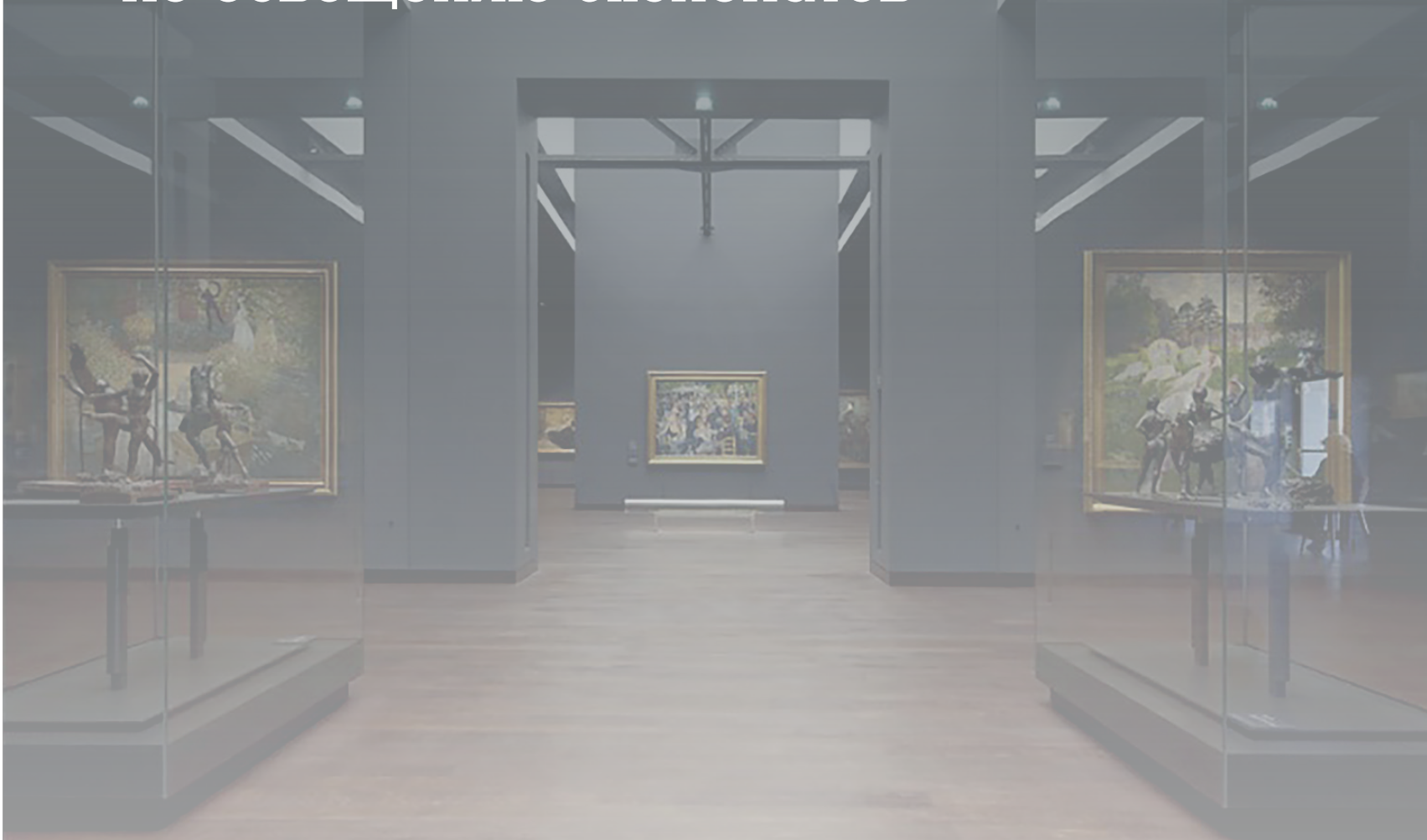
Функция Tunable white / изменяемая цветовая температура – функция, позволяющая настраивать цветовую температуру освещения в определенных пределах. Фактически, наличие такой функции означает, что в корпусе светильника (или в рамках одного светодиодного чипа) содержатся как «теплые», так и «холодные» светодиоды, регулировка интенсивности излучения которых позволяет менять итоговую цветовую температуру. Управление реализуется при помощи специального пульта, мобильного приложения или регулятора на корпусе светильника. В зависимости от модели светильника, изменение цветовой температуры может осуществляться как плавно, так и дискретно.

Функция CLO (Constant Light Output или Постоянный Световой Поток) связана со свойством светодиодных источников света снижать свой световой поток со временем, «деградировать». Если в паспорте светильника указана такая функция, то производитель позаботился о том, чтобы световой поток источников света светильников остался неизменным на всем протяжении их срока службы. Это означает, что изначально драйвер источника света работает не на полную мощность, но запрограммирован на постепенное ее увеличение, что позволяет нивелировать естественный спад светового потока.

8

РАЗДЕЛ

**Рекомендации
по освещению экспонатов**



8.1.

Рекомендации по освещению экспонатов в вертикальной плоскости

Второй закон геометрической оптики говорит, что свет отражается от поверхности под таким же углом, под каким падает на нее. Поэтому, при направленном освещении экспонатов, расположенных в вертикальной плоскости (картин, рисунков, фотографий и т. д.), особую важность имеет расположение светильника, в частности – угол наклона к вертикали. При больших углах пучки отраженного от экспоната света могут попадать в поле зрения посетителя: возникают затрудняющие восприятие блики (Рис. 35а). Этот эффект особенно заметен для масляной живописи и для экспонатов, расположенных за защитным стеклом. При недостаточно большом угле к вертикали возможен другой негативный эффект, когда восприятию мешают уже не блики, а тени, создаваемые рамой (Рис. 35б). Оптимальным углом наклона прожектора к вертикали, когда блик «уходит» ниже глаз посетителя, но при этом не возникают тени от рамы, принято считать угол 30° (Рис. 35в).

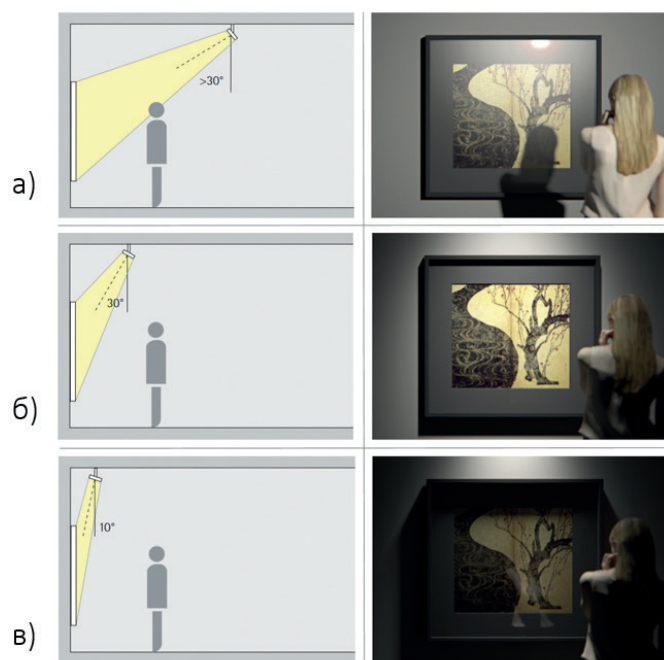


Рис. 35. Эффект освещения картины в зависимости от угла наклона светильника относительно вертикали (а – слишком большой угол наклона; б – оптимальный угол наклона; в – слишком маленький угол наклона)¹⁴

Отметим, что, поскольку размеры картин, рам и помещений различаются, в реальной ситуации расположение и нацеливание световых приборов должно определяться индивидуально.

При создании экспозиции может случиться так, что осветить картину без бликов при верхнем освещении невозможно. Такая ситуация может возникнуть при больших размерах полотна или ограниченных возможностях монтажа (невозможно расположить световой прибор там, где это было бы оптимально). В таких случаях целесообразно рассмотреть возможность освещения снизу, расположив световые приборы таким образом, что отраженный от поверхности картины пучок света будет направлен выше глаз посетителей, блик «уйдет» в потолок. Однако наш мозг привык к тому, что свет распространяется сверху¹⁵. Для того, чтобы нижнее освещение не выглядело противоестественно, крайне важно добиться равномерного распределения освещенности в плоскости картины. Для этого можно использовать светильники с асимметричной оптикой.

Подробнее об антибликовом освещении можно прочитать в статье Л.Г. Новаковского «Освещение произведений живописи, графики, полиграфии, фотографии – проблемы и возможные решения», опубликованной в журнале «Светотехника» в 2018 году¹⁶.

Если для сохранности экспоната важна освещенность, то человеку для его восприятия важна яркость. При прочих равных условиях, для двух произведений, расположенных рядом, уровень освещенности на более темном произведении должен быть выше, чем на светлом. В этом случае эти произведения будут восприниматься одинаково освещенными, так как яркость их будет сопоставима. Если уровни освещенности на этих произведениях будут равными, то светлое будет выглядеть пересвеченным, а темное – недостаточно освещенным. Важным фактором, влияющим на восприятие экспоната, является цвет фона (вертикальной поверхности), на которой расположен объект. Темная картина на белой стене выглядит темной независимо от уровня освещенности. Это особенно важно учитывать при отсутствии акцентирующего освещения. В случае, если белая стена – неприкосновенная часть исторического интерьера зала, может помочь использование фрейм-прожекторов, позволяющих увеличить яркость строго внутри картины, не затрагивая фон (Рис. 36). Здесь, опять же, важно соблюсти баланс, так как слишком ярко освещенное таким способом полотно будет выглядеть неестественно, напоминая скорее монитор.

¹⁴ Erco - Ideal Luminaire Arrangements for Art Galleries (2023)

¹⁵ Sun J., Perona P. Where is the sun? //Nature neuroscience. – 1998. Т. 1. №. 3. С. 183-184.

¹⁶ Новаковский Л.Г. Освещение произведений живописи, графики, полиграфии, фотографии – проблемы и возможные решения // «Светотехника». 2018. Спецвыпуск «Свет в музее». С. 19–27.



Рис. 36. Картина, расположенная на светлом фоне и освещенная при помощи фрейминга (справа)

8.2.

Рекомендации по освещению объемных экспонатов

Для восприятия объемных экспонатов большую роль играет светотень – распределение яркости по поверхности предмета. Неудачно направленный свет легко может исказить облик экспоната резкими и неестественными тенями.

Рекомендуется использовать сочетание общего и акцентирующего освещения. Акцентирующий освещение позволяет выделить экспонат относительно фона и подчеркнуть его структуру. При этом для акцентирующего освещения желательно использовать несколько источников света. Использование также и общего освещения позволяет сгладить жесткие тени, создаваемые акцентирующим светом, и обеспечивает общую видимость экспоната.

8.3.

Рекомендации по освещению экспонатов в витринах

Для комфортного восприятия экспонатов, расположенных в витрине, важно соблюсти правильное соотношение яркости внутри витрины и яркости в зале. То есть света внутри витрины должно быть больше, чем снаружи. В противном случае, поскольку даже самые хорошие стекла все равно имеют определенный коэффициент отражения, возникает так называемый «эффект зеркала», когда посетитель видит в стекле витрины отражения других экспонатов, интерьера и самого себя. Исходя из этого, представляется очевидным, что источники света желательно располагать внутри экспозиционного пространства витрины (Рис. 37). Такое решение не всегда возможно, как по конструктивным причинам, так и из-за недопустимого нагрева, создаваемого осветительным оборудованием.



Рис. 37. Внешнее и внутреннее освещение витрин¹⁷

Проблема нагрева может быть решена вынесением осветительного оборудования в отдельный, изолированный от экспозиционного пространства, блок витрины. Частным случаем такого решения является использование оптоволоконных систем освещения, в которых создаваемое светогенератором излучение распространяется по оптоволоконным каналам, на концах которых расположены оптические насадки, формирующие лучи нужной конфигурации для освещения экспонатов. Вынесение осветительного оборудования в отдельный блок не только снижает термическое воздействие на экспонаты, но и позволяет производить технические работы без необходимости вторгаться в экспозиционное пространство витрины.

Также важным инструментом при освещении витрин является цветовое оформление. Если в витрине выставлены светочувствительные предметы, то лучше использовать темный фон. Это позволит глазу адаптироваться к низкому уровню освещенности, необходимому для таких экспонатов. Общее освещение зала, в таком случае, должно быть на минимальном уровне, необходимом для сохранения ориентации в пространстве.

Если в зале много общего света и/или потенциальных источников бликов, таких как окна и другие витрины, то цвет витрин лучше делать светлым. Такое решение позволит выровнять баланс яркости и нивелировать возникающие отражения¹⁸.

¹⁷ The Complexity of Case Lighting – Renfro Design Group

¹⁸ Лезжова Е.С. Критерии выбора концепции цветосветовой среды в музеях // «Светотехника». 2022. №. 6. С. 32-35.

9

РАЗДЕЛ

Современные источники света
для исторических светильников



Часто в музеях для общего освещения могут использоваться исторические люстры, бра, торшеры, или их имитация. Какие-то из этих светильников сразу создавались для использования электрических ламп, начавших эксплуатироваться с конца XIX века. В других же в качестве источника света использовались свечи, масло, керосин или светильный газ.

По мере развития технологий, приспособление старого осветительного прибора под новый источник света не было редкостью. Свечные и масляные светильники модернизировались под использование газа, затем уже газовые, равно как и остальные, модернизировались под лампы накаливания. На сегодняшний день главным источником света стал светодиод. Однако светодиодные лампы, в наиболее массовом своем исполнении, имеют выраженно современный вид, обусловленный матовой колбой и белым пластиковым корпусом¹⁹. Для того, чтобы не нарушать исторический облик светильника и интерьера рекомендуется использовать светодиодные лампы с прозрачной колбой. Существует два вида таких ламп:

1. **Филаментные лампы** – лампы, источником света в которых являются светодиодные нити. Такие лампы по своему виду максимально близки к лампам накаливания, а по характеристикам не уступают привычным светодиодным лампам (Рис. 38).
2. **Линзованные лампы** – такие лампы создавались специально для использования в люстрах и имеют внутри колбы оптический элемент, благодаря которому излучаемый лампой свет выглядит «искрящимся». Световая отдача таких ламп ниже, чем у обычных или филаментных светодиодных ламп (Рис. 39).

Использование ламп с матовой колбой допустимо в случае, если светильник имеет непрозрачный плафон, то есть источник света скрыт от глаз посетителей.

Цветовая температура источников света, используемых в исторических световых приборах для общего освещения, должна лежать в пределах от 2700 К до 3000 К. Исключением может быть такая узкая задача как имитация холодного света свечей Яблочкова или более теплого освещения.

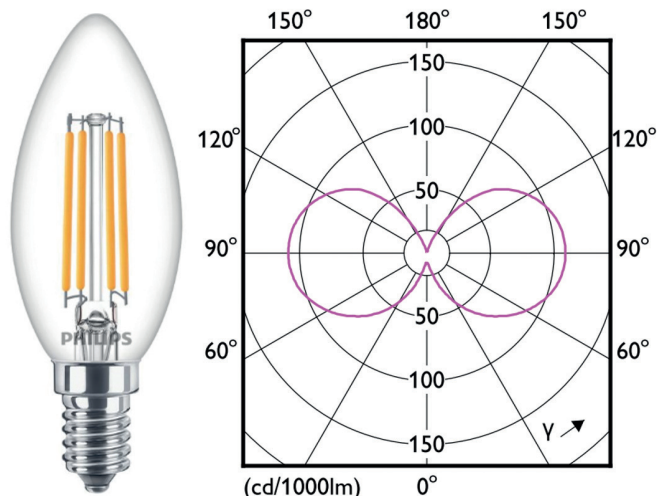


Рис. 38. Внешний вид и КСС филаментной светодиодной лампы

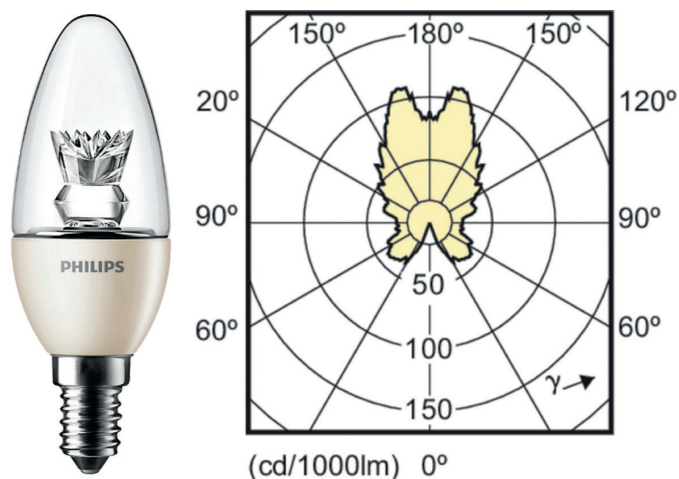


Рис. 39. Внешний вид и КСС линзованной светодиодной лампы

Современные светодиодные лампы, как правило, имеют больший световой поток, чем исторические источники света, которые они призваны замещать. Поэтому для использования в исторических светильниках целесообразно выбирать лампы минимальной мощности, если это не препятствует соблюдению норм освещенности в помещении.

10

РАЗДЕЛ

Естественное освещение:
проблемы и решения



Для музейных предметов солнечный свет является наиболее губительным ввиду высокой интенсивности и продолжительности излучения в течение дня, а также высокого содержания ультрафиолетового, коротковолнового видимого и инфракрасного излучений. Как видно из Рис. 40, наиболее вредносным является не столько прямой солнечный свет, сколько излучение чистого неба. Однако попадание на экспонаты прямого солнечного света все равно недопустимо из-за его высокой интенсивности.

уровень излучения, пропускаемого пленками, с помощью УФ-радиометра. В идеальном случае приведенная УФ-облученность, создаваемая закрытыми пленками окнами не должна превышать 10 мкВт/лм^{20} . При выборе светозащитных пленок необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Учитывать расположение окон музея относительно сторон света. Солнце движется по небосводу в течение дня – с востока на запад, а в северных регионах в летний период доходит и до северо-запада.



Рис. 40. Сравнение относительной вредности источников света

Очевидно, что для того, чтобы снизить воздействие солнечного света на экспонаты, следует закрывать окна шторами. Но такое решение не всегда целесообразно по ряду причин. Во-первых, за окном может быть красивый вид, который тоже хочется показать посетителям. Во-вторых, грамотное использование окон в качестве источника общего освещения позволяет снизить затраты на электроэнергию. И в-третьих, даже плотные шторы могут пропускать наиболее вредный для экспонатов ультрафиолет.

Для решения этих проблем используются специальные защитные пленки, которые устанавливаются на окна помещений и/или стекла витрин. Такие пленки отражают невидимое излучение и часть видимого, вплоть до 99 %. Пленки имеют ограниченный срок службы, поэтому необходимо раз в несколько лет производить контроль их пригодности – замерять

Очевидно, что движение Солнца по небосводу влечет изменения освещенности в помещениях музеев. В качестве примера можно привести здание Зимнего дворца: летом в утренние часы освещенность на стене, противоположной окнам восточного фасада, может достигать 1500 лк даже при наличии светозащитных пленок, а уже после 9 утра освещенность снижается до 800 лк и падает в течение дня вместе с движением Солнца по небосводу. Необходимо учитывать этот фактор для того, чтобы правильно подобрать пленки: наибольшую световую экспозицию получают предметы, которые находятся в помещениях с окнами на юг, а значит, окна фасадов, выходящие на юг, должны быть максимально защищены от оптического излучения.

Для наглядности и удобства можно пользоваться бесплатным интернет-ресурсом: www.suncalc.org. С его

²⁰ CIE 157 2004

помощью можно внести координаты здания, а затем отследить, как Солнце перемещается относительно него. Это поможет быстро выбрать пленки для каждого из музейных помещений.

2. Важен эстетический компонент: пленки могут различаться по цвету, по типу (например, отражающая, матовая, прозрачная). Необходимо консультироваться с профильными специалистами, которые помогут подобрать пленки, максимально подходящие к облику здания.

Одним из инструментов оптимизации освещения, включающим в себя работу как с естественным, так и с искусственным освещением, являются сценарии освещения. Сценарий освещения – это протокол, согласно которому включаются или выключаются те или иные группы светильников, открываются или закрываются оконные шторы. Задача сценария состоит как в том, чтобы сэкономить электроэнергию, расходуемую на избыточное искусственное освещение, так и в том, чтобы не допустить излишней освещенности и облученности, создаваемой дневным светом. При разработке сценария необходимо учитывать расположение окон музея относительно сторон света, изменение освещенности в течение дня и года, а также светочувствительность представ-

ленных в зале экспонатах. Наиболее простой пример сценария освещения представлен на рис. 41. Такой сценарий будет характерен для экспозиции светочувствительных экспонатов, особенно – расположенных за стеклом, где крайне нежелательно проникновение естественного света.

Время суток	Искусственное освещение	Естественное освещение
День (до захода солнца)	Включен акцентный свет	Шторы полностью закрыты
Вечер (после захода солнца)	Включен акцентный свет Включена потолочная подсветка	Шторы полностью закрыты

Примечания:

1. Витринный свет включен все время работы музея.
2. После закрытия музея необходимо удостовериться, что все шторы закрыты.

Рис. 41. Пример содержания сценария освещения зала

Наряду со сценарием рекомендуется также составлять осветительные карты залов – своеобразной паспорт, содержащий информацию как об оборудовании, так и об экспонатах (Рис. 42).

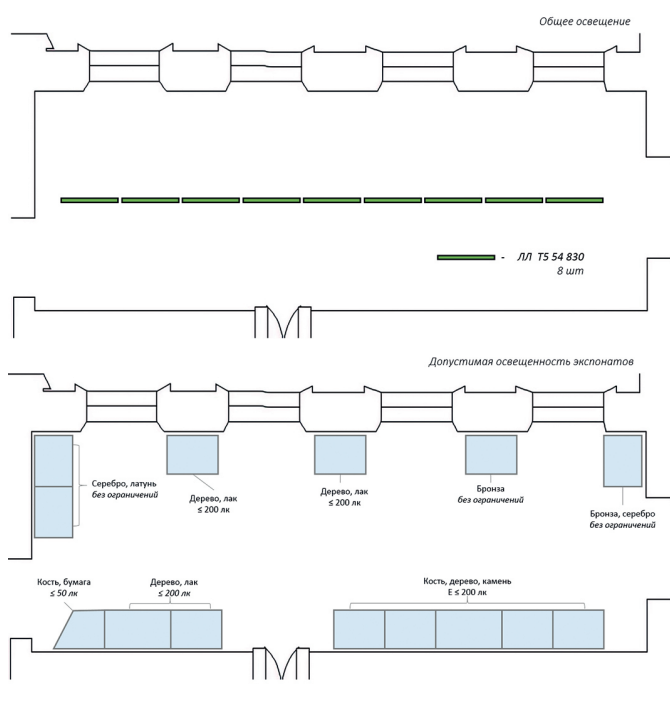
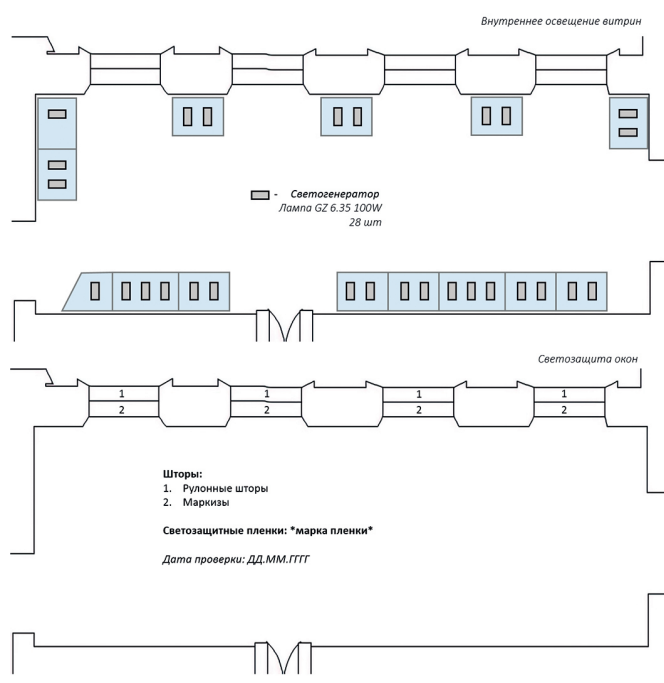


Рис. 42. Пример содержания осветительной карты зала





РАЗДЕЛ

Нормируемые параметры

Музейное освещение включает в себя не только освещение экспонатов, но также общее освещение помещений, освещение фондохранилищ и реставрационных мастерских. Соответственно существуют различные группы требований к параметрам освещения.

11.1.

Экспозиционное освещение

В экспозиционном освещении нормируются следующие параметры:

- средняя освещенность на поверхности экспоната ($E_{ср}$);
- равномерность освещенности (U) – для двухмерных экспонатов;
- неравномерность освещенности (U_n) – для двухмерных экспонатов;
- средняя годовая экспозиция;
- приведенная УФ-облученность;
- общий индекс цветопередачи (R_a);
- коэффициент пульсации освещенности (K_p).

Основой для нормирования значений освещенности, облученности и суммарной годовой экспозиции является классификация музейных предметов по светостойкости. В таблице 8 представлена общепринятая классификация МКО, нормативно закрепленная в ГОСТ Р 70835-2023.

Таблица 8. Классификация материалов по светостойкости

Номер группы	Наименование группы	Примеры
I	Нечувствительные	Большинство металлов, большинство разновидностей стекла, натуральная керамика, эмаль, большинство минералов
II	Малочувствительные	Масляная и темперная живопись, фрески, некрашеные кожа и шерсть, рог, кость, лак, некоторые виды пластмасс
III	Среднечувствительные	Костюмы, акварели, пастели, гобелены, гравюры и рисунки, рукописи, миниатюры, картины клеевой краской, обои, гуашь, крашенная кожа и большинство органических объектов, включая растения, мех и перья
IV	Высокочувствительные	Шелк, газетная бумага, особо недолговечные красители

Таблица 9. Нормируемые значения параметров экспозиционного освещения в зависимости от светостойкости материала

Группа светостойкости	Освещенность, не более, лк	Демонстрационная годовая световая экспозиция, не более, лк·ч/г	Приведенная УФ-облученность, не более, мкВт/лм*
I	Без ограничений	Без ограничений	200
II	200	600 000	75
III	50	150 000	30
IV	50	15 000	30

* К светодиодному освещению применяются требования не более 5 мкВт/лм независимо от группы светостойкости экспоната

Таблица 10. Другие нормируемые параметры экспозиционного освещения

Параметр	Нормируемое значение
R_a , не менее	85 (95)*
K_p , не более, %	5

* Согласно ГОСТ Р 70835, $R_a > 95$ требуется при освещении произведений искусства, этнографических, естественных или исторических экспонатов. В остальных случаях достаточно значение $R_a > 85$

Таблица 9 составлена на основании ГОСТ Р 70835-2023, а также Единых правил организации комплектования, учета, хранения и использования музейных предметов и музейных коллекций. Отметим, что для трехмерных экспонатов, например скульптур, нормируется значение полуцилиндрической освещенности.

Таблица 11. Нормируемые значения равномерности и неравномерности освещенности на поверхности двухмерного экспоната

Параметр	Допустимое значение	Предпочтительное значение
Равномерность освещенности (U)	$\geq 0,7$	$\geq 0,9$
Неравномерность освещенности (U_n)	$\leq 1,3$	$\leq 1,1$

11.2.

Общее освещение помещений

Нормируются следующие показатели общего освещения музейных помещений:

- средняя освещенность на уровне пола (E_p);
- объединенный показатель дискомфорта (UGR);
- равномерность освещенности на уровне пола (U_o);
- общий индекс цветопередачи (R_a);
- коэффициент пульсации освещенности (K_p).

Таблица 12. Нормируемые параметры общего освещения музейных помещений

Наименование помещения	Еп, не менее, лк	Uo, не менее	UGR, не более	Ra, не менее	Кп, не более, %
Экспозиционные залы	30	0,50	22	85	5
Вестибюль, зона досмотра при входе в здание	100	0,40	25	80	-
Коридоры, холлы	50	0,40	22	80	-
Гардеробы	200	0,4	25	80	-
Лестницы	50	0,40	-	80	-

Параметры, не указанные в таблице принимать в соответствии с ГОСТ Р 55710 и/или СП. 52 13330.

11.3.

Освещение фондохранилищ

Таблица 13. Нормируемые параметры освещения фондохранилищ

Наименование помещения	Е, не более, лк	UGR, не более	Кп, не более, %	Приведенная УФ-облученность, не более, мкВт/лм*
Помещения для хранения музейных предметов	50	-	-	5
Помещения для осмотра музейных предметов	500	19	5	
Изолятор и камера акклиматизации	30	-	-	

Параметры, не указанные в таблице принимать в соответствии с ГОСТ Р 55710 и/или СП. 52 13330

Для хранения произведений масляной и темперной живописи, а также предметов из кости необходимо систематическое освещение (естественное или искусственное) в дневное время.

Хранение предметов на бумажных носителях, а также всех архивных документов, следует осуществлять при отсутствии освещения.

11.5.

Освещение иных рабочих мест

Освещение рабочих мест музея, не связанных с хранением, реставрацией или экспозицией музейных предметов, должно соответствовать общим требованиям ГОСТ Р 55710 и/или СП. 52 13330.

11.4.

Освещение реставрационных мастерских

Таблица 14. Нормируемые параметры освещения реставрационных мастерских

Параметр	КЦТ	UGR, не более	Ra, не менее	Кп, не более, %
Допустимое значение	От 2700 до 6500 К	19	95	5

Значения освещенности на рабочей поверхности при проведении реставрационных работ выбираются индивидуально в соответствии с ГОСТ Р 55710 и/или СП. 52 13330 в зависимости от выполняемых в процессе операций и могут достигать тысячи люкс. Примеры выбора значений освещенности для операций, выполняемых в процессе реставрации, приведены в ГОСТ Р 70835 (Приложение Д). В общем случае, освещенность на рабочей поверхности должна составлять не менее 300 лк.

12

РАЗДЕЛ

Измерения характеристик освещения:
приборы и методика



12.1.

Проведение прямых измерений

В данном разделе описана методика измерения различных величин, важных для музейного освещения. Для более подробного изучения вопроса рекомендуется ГОСТ Р 70836-2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Методы измерений нормируемых параметров».

Приборы для измерения характеристик освещения в музее:

- *люксметр* – прибор для измерения освещенности;
- *яркометр* – прибор для измерения яркости;
- *спектрометр* – прибор для измерения индекса цветопередачи, спектра и коррелированной цветовой температуры источника света;
- *пульсметр* – прибор для измерения коэффициента пульсации светильников и ламп;
- *УФ-радиометр* – прибор для измерения облученности или энергетической освещенности.

В базовом виде приборы для измерения параметров освещения выглядят так:



Рис. 43. Прибор для измерения характеристик освещения и его основные составляющие

Существуют и компактные приборы, в которых измерительный блок и фотоэлемент находятся в одном блоке. Для удобства физического доступа к точкам измерений рекомендуется использование приборов с отдельными измерительным блоком и фотометрической головкой.

Все приборы, используемые для замеров, необходимо ежегодно поверять (калибровать). Свидетельство о поверке каждого измерительного прибора необходимо сохранять до истечения срока действия поверки. Поверять приборы можно в аккредитованных лабораториях и у некоторых производителей

лей измерительных приборов. При истечении срока действия поверки данные о произведенных замерах могут быть неточными, а при внесении таких данных в официальные документы (например, протоколы замеров) они будут недействительны.

Измерительных приборов на рынке достаточно много, однако не все из них могут поверяться лабораториями. В Российской Федерации действует Государственный реестр средств измерений, в котором содержатся сведения о зарегистрированных средствах измерений (то есть измерительных приборах) и их производителях, прошедших надлежащие проверки. Для таких приборов разработаны и утверждены официальные правила проведения метрологической поверки. Таким образом, для того чтобы измерительный прибор мог ежегодно поверяться, а полученные с его помощью данные имели правовую силу, перед покупкой необходимо удостовериться, что этот прибор внесен в Реестр. Сделать это можно при помощи соответствующего раздела на сайте Госреестра. Для этого нужно:

1. Перейти на сайт fgis.gost.ru.
2. Выбрать систему «Метрология» (подсистема «Аршин»).
3. Выбрать Публичный портал.
4. Выбрать секцию «Утвержденные типы средств измерений».

Для измерения освещенности, облученности и коэффициента пульсации необходимо:

1. Убедиться, что измерительный прибор имеет действительную на момент проведения замеров поверку.
2. Встать рядом с точкой проведения замеров, не перекрывая поток света.
3. Совершить дополнительную калибровку прибора на месте, если информация об этой необходимости указана в инструкции к прибору или отобразилась на его дисплее.
4. Расположить фотометрическую головку прибора параллельно плоскости измеряемого объекта (например, параллельно поверхности стола или параллельно живописному полотну) таким образом, чтобы свет попадал на фотоэлемент.
5. Зафиксировать отобразившийся на дисплее прибора результат измерений.
6. При измерении освещенности музейных предметов, как правило, требуется измерение в нескольких точках. Например, при измерении освещенности живописного полотна необходимо измерить освещенность минимум в пяти точках: центр и углы. Это связано с тем, что некоторые источники света дают неравномерную засветку, невидимую для человеческого глаза.
7. При необходимости – составить протокол измерения. Рекомендуется форма протокола, предлагаемая в ГОСТ Р 70836-2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Методы измерений нормируемых параметров» (Приложение В).

Для измерения, индекса цветопередачи, спектрального распределения и коррелированной цветовой температуры источника света необходимо:

1. Убедиться, что измерительный прибор имеет действительную на момент проведения замеров поверку.
2. Выключить основной свет в помещении, при возможности – закрыть шторы на окнах, чтобы избежать искажений результатов замеров.
3. Встать рядом с включенным источником света таким образом, чтобы на прибор попадал свет только от него.
4. Расположить фотометрическую головку прибора таким образом, чтобы на фотозащитный элемент попадал только свет от измеряемого источника.
5. Зафиксировать результат проведения замеров, который отобразился на дисплее прибора.
6. При необходимости – составить протокол измерения. Рекомендуется форма протокола, предлагаемая в ГОСТ Р 70836-2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Методы измерений нормируемых параметров» (Приложение В).

дения посетителя, на высоте 1,5 м от поверхности пола с максимальным хватом поверхностей помещения (потолок, стены, пол) полем зрения цифрового яркомера. Рекомендуемая модель цифрового яркомера – LMK mobile advanced. Такой прибор также может использоваться для определения освещенности косвенным образом.

12.2.

Вычисление нормируемых параметров, не определяемых прямыми измерениями

Вычисление приведенной УФ-облученности

Радиометр позволяет измерить УФ-облученность, имеющую размерность Вт/м². Однако в нормативной документации часто указывается приведенная УФ-облученность, значение которой может быть получено следующим образом:

1. Измерить значение освещенности в точке.
2. Измерить значение облученности в этой же точке.
3. Поделить значение облученности на значение освещенности и привести к размерности мВт/лм или мкВт/лм.

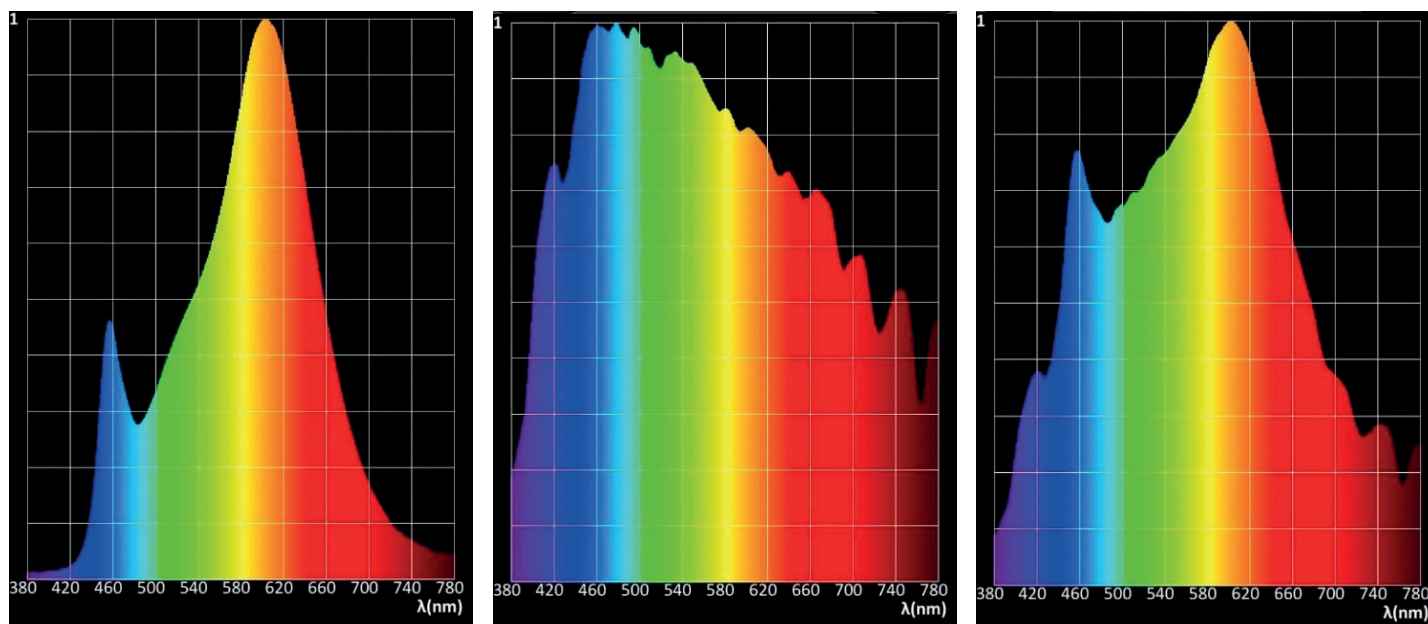


Рис. 44. Результаты измерений спектра источников света с помощью спектрометра (слева направо): правильно измеренный светодиодный источник света; солнечный спектр; искаженный (совмещенный) спектр искусственного и естественного света из-за неверного расположения прибора. На искаженном результате отчетливо видны «пики» спектра светодиода с цветовой температурой 3000 К

На Рис. 44-45 представлены примеры результатов измерения спектра источников света.

Измерение яркости. Яркомер позволяет измерить яркость в точке. В то время как наибольшее прикладное значение имеет распределение яркости в поле зрения. Измерение распределение яркости производится согласно ГОСТ Р 70836-2023, цифровым яркомером с компьютерной обработкой результатов измерений. Измерение проводят из точки, расположенной в зоне возможного нахож-

Вычисление средней освещенности

Значение средней освещенности заданной поверхности (E_{cp}) вычисляется как среднее арифметическое значений освещенности (E_i) в n контрольных точках этой поверхности.

$$E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

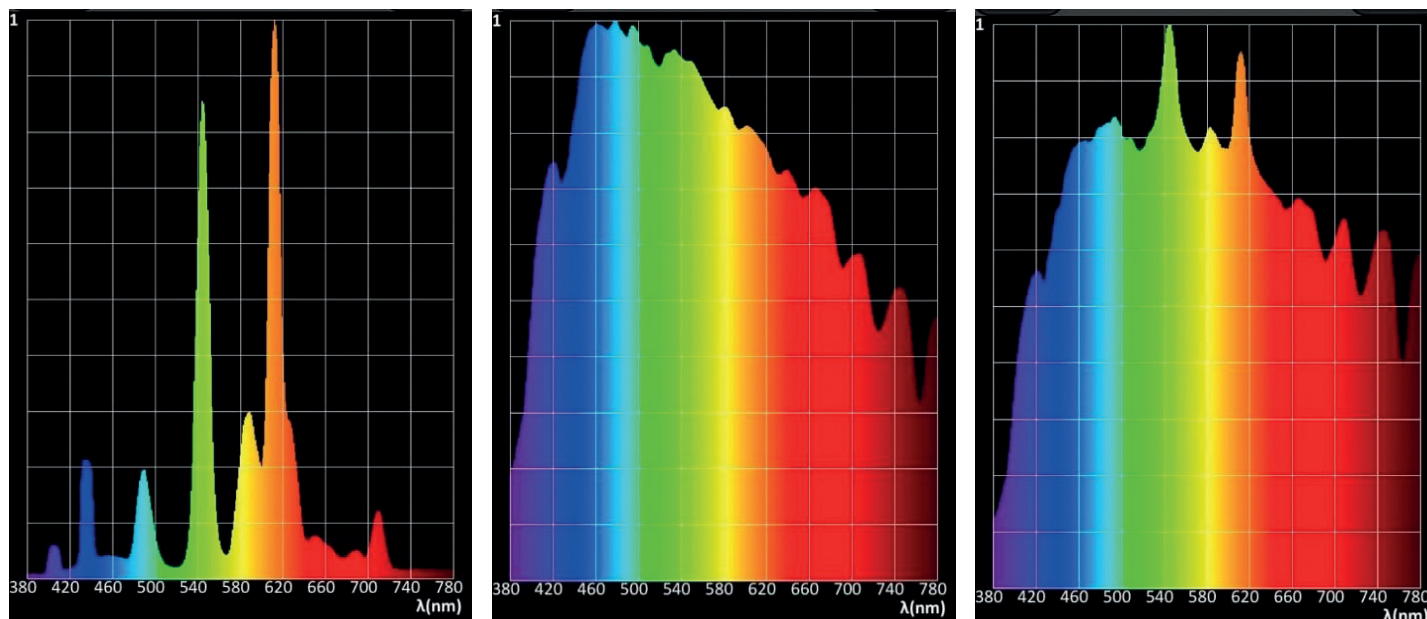


Рис. 45. Результаты измерений спектра источников света с помощью спектрометра (слева направо): правильно измеренный люминесцентный источник света; солнечный спектр; искаженный (совмещенный) спектр искусственного и естественного света из-за неверного расположения прибора. На искаженном результате отчетливо видны разобщенные «пики» спектра люминесцентной лампы с цветовой температурой 3000 К.

Вычисление равномерности освещенности

Равномерность освещенности (U_o) вычисляется как отношение минимальной освещенности на заданной поверхности к средней освещенности на заданной поверхности:

$$U_o = \frac{E_{\text{мин}}}{E_{\text{ср}}}$$

Вычисление неравномерности освещенности

Неравномерность освещенности (U_n) вычисляется как отношение максимальной освещенности на заданной поверхности к средней освещенности на заданной поверхности:

$$U_n = \frac{E_{\text{макс}}}{E_{\text{ср}}}$$

Определение объединенного показателя дискомфорта UGR

Согласно СанПиН 1.2.3685-21, объединенный показатель дискомфорта UGR не имеет инструментальных методов контроля и рассчитывается инженерным методом с помощью программных средств на основе фотометрических данных светильников и расположения их в помещении. Регламентируемый объединенный показатель дискомфорта должен обеспечиваться у торцевой стены на центральной оси помещения на высоте 1,2 м от пола. ГОСТ Р 54943-2012 рекомендует использовать для расчета UGR программы DIALux или Relux Pro.

Рассчитать значение UGR при помощи ПО DIALux можно следующим образом:

1. Открыть вкладку «Расчетные объекты».
2. В качестве активного расчетного объекта выбрать расчетную поверхность.
3. Во вкладке «Расчетные параметры» выбрать United Glare Rating (UGR) (Рис. 46).
4. В графе «Поправка высоты» указать 1,2 м.
5. Расположить расчетную плоскость у торцевой стены на центральной оси помещения.
6. Запустить расчет. После произведения расчета, результат вычисления UGR отобразится в окне «Обзор результатов» (Рис 47).

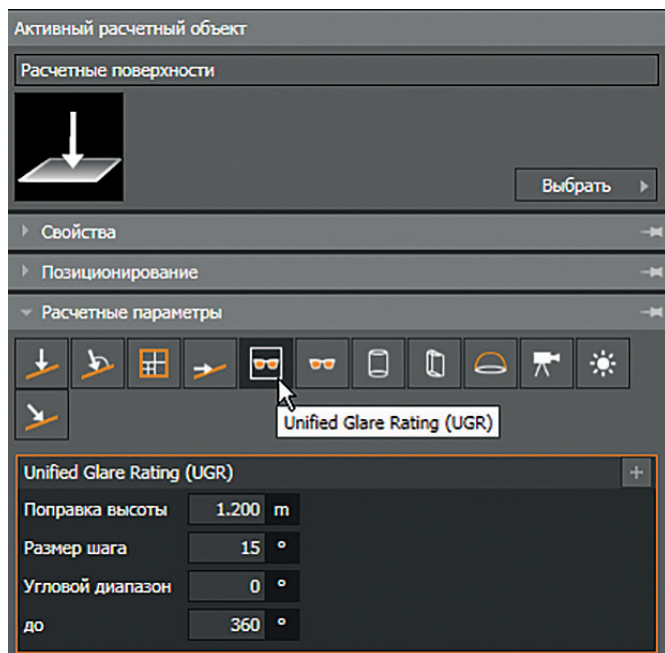


Рис. 46. Выбор параметра UGR во вкладке «Расчетные параметры» ПО DIALux Evo

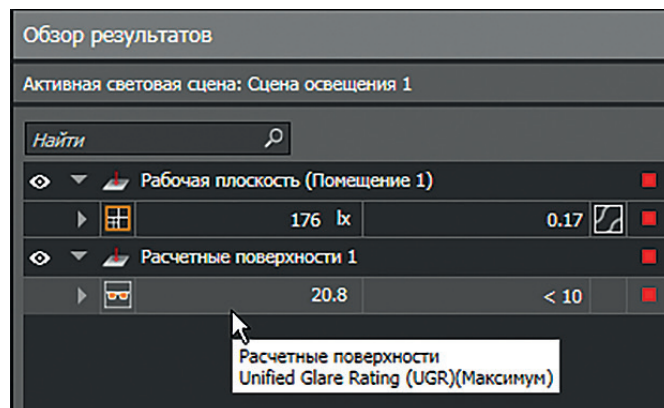
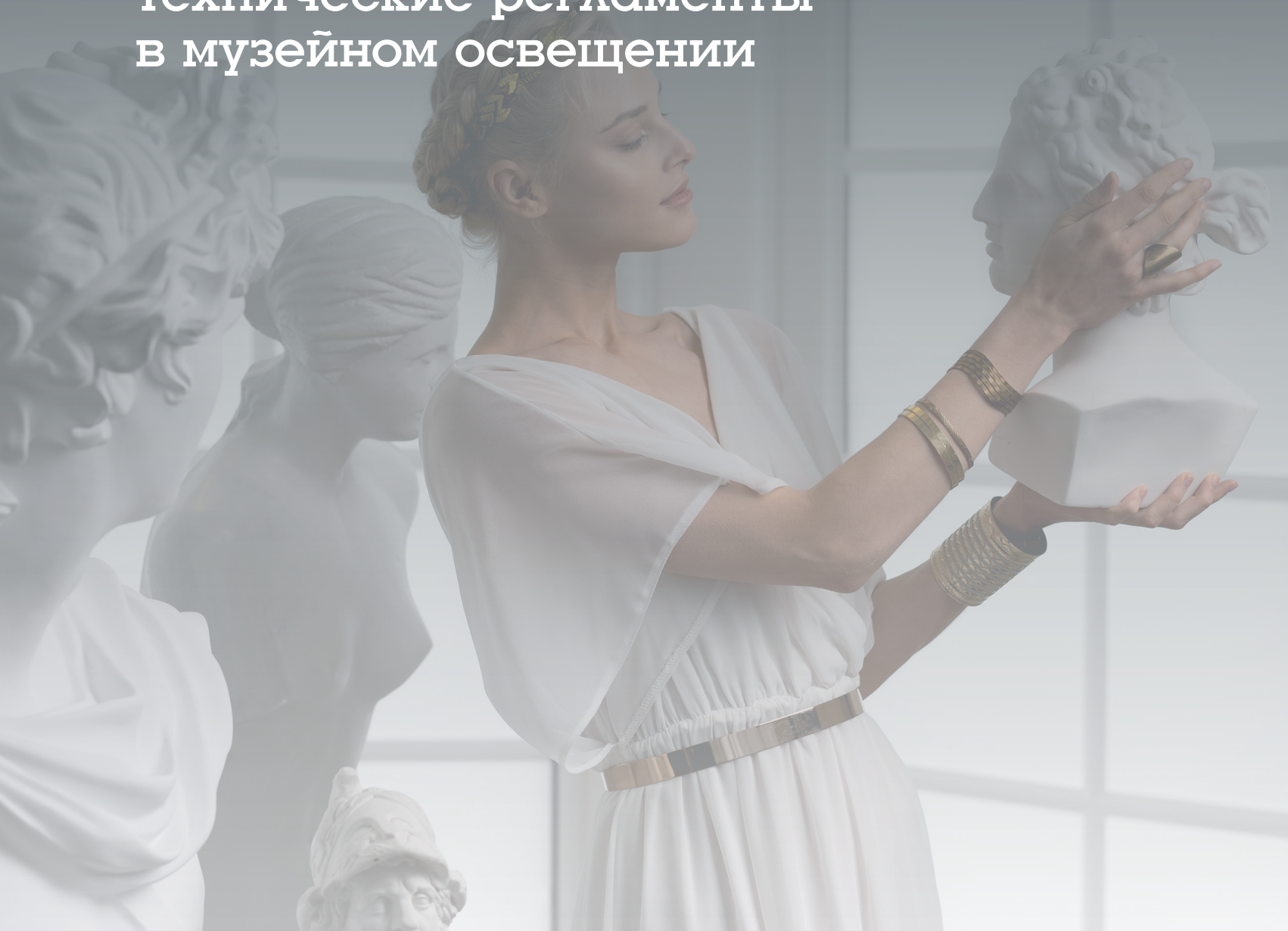


Рис. 47. Рассчитанное значение UGR в окне «Обзор результатов» ПО DIALux Evo

13

РАЗДЕЛ

**Технические регламенты
в музейном освещении**



Работа в музее – огромная ответственность: и перед посетителем, и перед научным сообществом, и перед будущими поколениями. Поэтому обеспечение безопасности музейных предметов и экспонатов – одна из первостепенных задач при формировании освещения в помещениях хранения и в экспозиции. В условиях большого разнообразия светотехнической продукции, определить насколько применяемое в проектных решениях светотехническое оборудование соответствует условиям дальнейшей эксплуатации, если оно используется впервые и отсутствуют эксплуатационные наработки, непросто. Поэтому, при рассмотрении проектной документации, особое внимание следует уделять наличию подтверждения безопасности и качества осветительных приборов аккредитованными сертификационными центрами, испытательными лабораториями.

В Российской Федерации принято несколько Технических регламентов, действие которых распространяется на световое оборудование, выпускаемое в обращение на единой таможенной территории Таможенного союза или Евразийского экономического Союза:

1. ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»,
2. ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

Существуют две формы подтверждения соответствия изделия требованиям технических регламентов: сертификат соответствия и декларация соответствия. Оба документа имеют равную юридическую силу, однако между ними есть ряд отличий, основные из которых приведены в таблице 15.

Таблица 15. Основные отличия сертификата соответствия и декларации соответствия

Вид подтверждающего документа	Бланк установленного образца	Кем выполняется	Ответственность
Сертификат соответствия	Да	Органом сертификации	Разделяется между органом сертификации и изготовителем
Декларация соответствия	Нет	Изготовителем или поставщиком	Полностью лежит на изготовителе или ином лице, выполняющим декларирование

Технические регламенты содержат перечень изделий, подлежащих обязательной сертификации. Изделия, не входящие в этот перечень подлежат обязательному декларированию, но также

могут быть сертифицированы по решению изготовителя или поставщика.

Вид сертификата соответствия и приложения к нему представлен на Рис. 48. В приложении к сертификату соответствия часто можно увидеть все модификации оборудования (например, Свет-30, Свет-40, Свет-50), на которые распространяется сертификат.

В случае возникновения сомнений в подлинности или действительности сертификатов или деклараций, можно проверить их статус на сайте Федеральной службы по аккредитации в Едином реестре сертификатов соответствия и деклараций о соответствии: <https://pub.fsa.gov.ru/rss/certificate>. С недавнего времени сертификаты и декларации также дополняются QR-кодом, при сканировании которого можно сразу перейти на сайт Федеральной службы по аккредитации.

Нормы энергетической эффективности осветительного оборудования

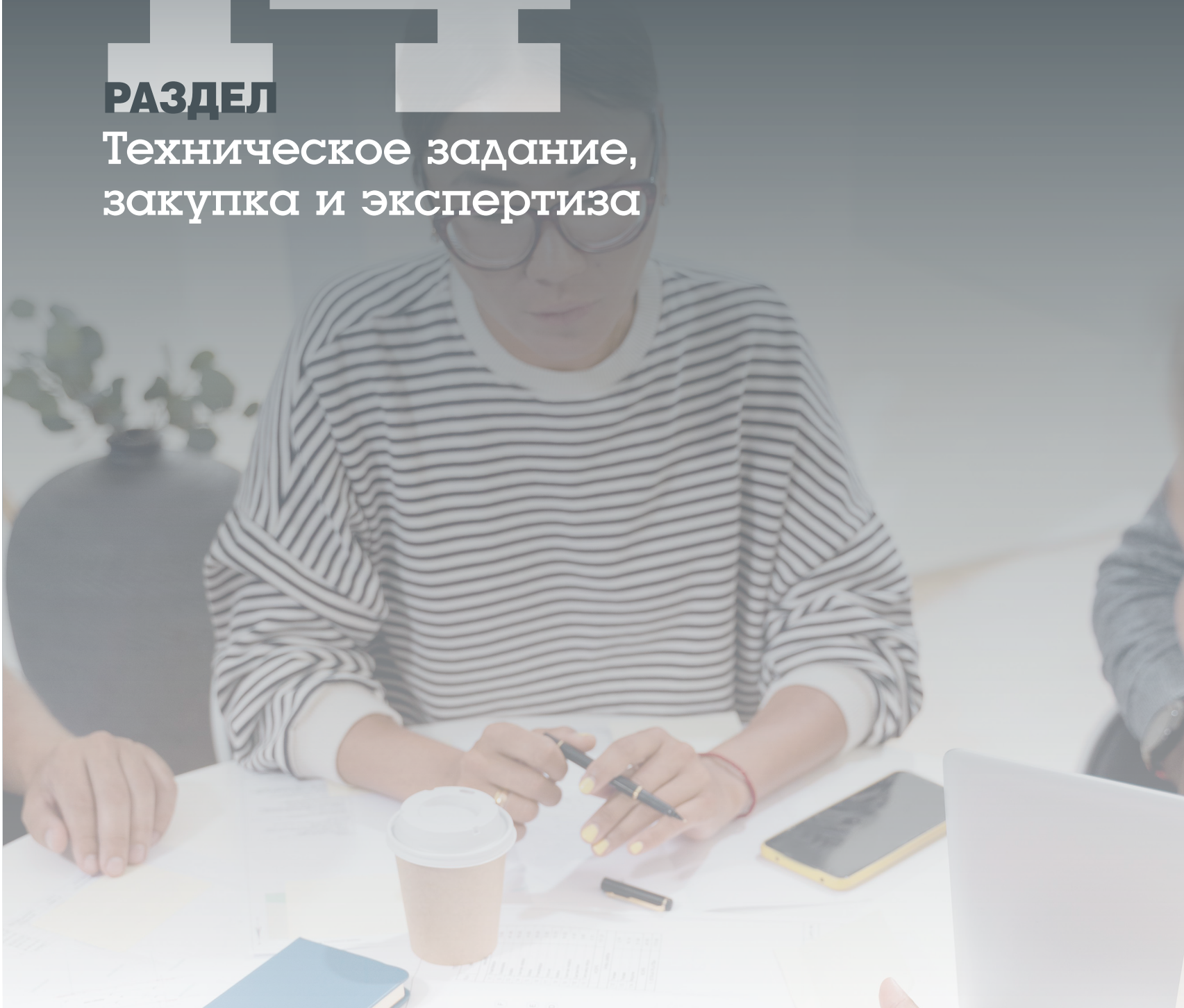
До вступления в силу ТР ЕАЭС 048/2019 «О требованиях к энергетической эффективности энергопотребляющих устройств», в Российской Федерации действует постановление Правительства РФ № 2255 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемых в цепях переменного тока в целях освещения» (далее – Постановление). Постановление содержит требования к световой отдаче и коэффициенту мощности ламп и светильников в зависимости от типа источника света, мощности, и прочих факторов, а также требования к значению коэффициента пульсации и общего индекса цветопередачи. Соответствие требованиям Постановления подтверждается протоколами испытаний сертифицированных лабораторий или декларациями производителя.

Важно отметить, что требования Постановления не распространяются на декоративно-художественное освещение и архитектурную подсветку, а также на аварийное и эвакуационное освещение.

14

РАЗДЕЛ

Техническое задание,
закупка и экспертиза



14.1.

Составление технического задания на поставку

Для того, чтобы составить техническое задание на поставку оборудования, нужно, прежде всего, определить, какими характеристиками оно должно обладать. Некоторые характеристики, такие как коэффициент пульсации, закреплены в нормативной документации. В то время как, например, цветовая температура и КСС могут варьироваться в зависимости от задачи. Для определения вариативных характеристик оборудования, его «примерки» используется моделирование. Моделирование может быть компьютерным и натурным.

Компьютерное моделирование производится в специальных программах (DIALux, Relux и т. д.), и позволяет определить оптимальную расстановку, количество, мощность светильников, рассчитать создаваемую ими освещенность, яркость, UGR. Для имитации светильника в программе используются специальные файлы (IES или LDT), содержащие информацию о светораспределении и других параметрах светильника. Как правило, такие файлы находятся в свободном доступе на сайтах производителей или предоставляются по запросу.

Натурное моделирование (*mock-up*) – это кратковременная установка предполагаемого к приобретению оборудования непосредственно на месте, где оно будет использоваться (Рис. 49). Такой способ дает более глубокое понимание того, какой эффект будет создавать свет. Проведение натурного моделирования полезно всегда, но особенно важно при освещении объектов искусства. Например, это наиболее верный способ выбрать КЦТ для освещения живописи, сравнить эффект от аналогичного оборудования различных производителей и т. д.

Натурное и компьютерное моделирование не исключают, а напротив, дополняют друг друга. Поэтому рекомендуется использовать оба этих инструмента.

В техническом задании (Рис. 50) должны указываться все имеющие значение параметры и характеристики осветительного оборудования. Также может быть добавлен образец внешнего вида оборудования, габаритный чертеж, требования к цвету корпуса согласно общепринятым каталогам, и описаны дополнительные требования, такие как особенности монтажа.

Среди условий поставки необходимо указать:

- оборудование должно быть новым (не бывшим в употреблении, в ремонте, в том числе не восстановленным, у которого не была осуществлена замена составных частей, не были восстановлены потребительские свойства) и поставляться в неповрежденной оригинальной упаковке, если такая упаковка предусмотрена заводом-изготовителем, либо упаковано соответствующим образом в целях обеспечения сохранности оборудования при транспортировке;
- оборудование должно сопровождаться технической документацией на каждую единицу оборудования, в том числе паспортом на каждую единицу оборудования и руководством по эксплуатации на русском языке;
- оборудование должно работать от сети заказчика с напряжением 220–240В и частотой 50 Гц;
- оборудование должно сопровождаться документами об оценке соответствия, предусмотренными правом Евразийского экономического союза и законодательством Российской Федерации, обязательными для данного вида оборудования (ТР ТС, ТР ЕАЭС), а также иными документами, подтверждающими качество товара.

В техническом задании рекомендуется указать о необходимости предоставления поставщиком протоколов испытаний светотехнических характеристик, так как данные испытания не входят в состав сертификационных испытаний. В случае отсутствия данных протоколов на момент поставки, заказчику



Рис. 49. Проведение натурного моделирования освещения: сводов потолка (слева) и живописи (справа)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ на поставку светодиодных ламп для декоративно-художественного освещения и архитектурной подсветки

1. Общие сведения

Заказчик	
Адрес Заказчика	
Вид финансового обеспечения (Источник финансирования)	
Цена договора	
Код ОКПД 2	27.40.15.150

2. Основные характеристики и количество:


№ п/п	Наименование товара в соответствии с ОКПД2	Уточненное наименование товара с учетом потребностей Заказчика	Характеристики товара	Ед. изм.	Кол-во.
1.	Лампы светодиодные (27.40.15.150)	Светодиодная филаментная лампа «Фирма Название»	<p>Внешний вид:</p>  <p>Цоколь: E27 Колба: прозрачная Типоразмер: A60 Мощность: 8 Вт Световой поток: 740 Лм Класс энергоэффективности: А Цветовая температура: 2700 К Индекс цветопередачи: 90 Ra Коэффициент пульсации: ≤ 1% Срок службы: 35 000 часов Диаметр лампы: 60 мм Длина лампы: 105 мм</p>	шт.	1000

Рис. 50. Пример технического задания на поставку светодиодных ламп по 223-ФЗ

потребуется произвести данные испытания самостоятельно или с привлечением аккредитованных лабораторий по договору.

14.2.

Особенности осуществления госзакупок в сфере культуры

Качественное (и бесперебойное) музейное освещение – один из критериев комфортного и безопасного пребывания посетителей в музее. Своевременное заключение контрактов на поставку осветительного оборудования, светильников, ламп и их своевременная

замена, техническое обслуживание и ремонт является залогом успешного создания условий для повышения качества работы музея, учреждения культуры и разнообразия услуг, предоставляемых в сфере культуры.

В целях обеспечения надежной работы осветительного оборудования музеем (учреждениям культуры) необходимо решать ряд организационных вопросов. В зависимости от решаемых задач возможны закупки по следующим направлениям:

- закупка ламп и осветительного оборудования для создания архитектурного освещения, декоративно-художественного оформления интерьеров залов и витрин;

- закупка ламп и осветительного оборудования для создания комфортных и/или нормативных условий освещенности, качества световой среды для производственных и офисных помещений музеев, учреждений культуры;
- закупка работ по текущему ремонту систем электроосвещения помещений музеев, учреждений культуры.

При осуществлении закупок, совершаемых за счет субсидий, предоставленных из бюджетов бюджетной системы РФ, бюджетные учреждения культуры обязаны руководствоваться Федеральным законом № 44-ФЗ.

При осуществлении закупок, осуществленных за счет собственных средств, пожертвований, грантов и иных средств, бюджетные учреждения культуры руководствуются Федеральным законом № 223-ФЗ и положением о закупках (положение о закупках применяется типовое или разрабатывается учреждением самостоятельно, опираясь на требования Закона № 223-ФЗ и подзаконных актов).

Положения Закона № 44-ФЗ позволяют осуществлять закупки по общим правилам и процедурам, прежде всего путем проведения конкурентных процедур закупок. Здесь следует отметить, что действующее регулирование содержит различные запреты, ограничения, условия допуска, типовой контракт, предусмотренные положениями Закона № 44-ФЗ и подзаконных нормативных правовых актов, носят громоздкий характер, предусматривают различный порядок их реализации, содержат несколько перечней товаров, в отношении которых они применяются. С учетом применения действующих норм, запретов, ограничений заказчик все равно сталкивается с поставкой оборудования и материалов, не отвечающих требуемым параметрам световой среды музея, в этом случае рекомендуется использовать механизм внешней экспертизы поставленного товара с применением лабораторных методов испытания поставленного товара. Например, предметом договора внешней экспертизы может быть: оказание услуг по проведению светотехнических и электрических испытаний световых приборов и источников света.

Положения Закона № 223-ФЗ позволяют осуществлять закупки как по общим правилам путем проведения конкурентных процедур закупок, так и путем специализированных оснований, предусмотренных положением о закупке музея, учреждения культуры. Такие основания способствуют реализации заказчиком проектов освещения с возможностью поставки оборудования и материалов с характеристиками, отвечающими требуемым параметрам световой среды музея.

14.3.

Экспертиза

С целью обеспечения условий для выполнения экспертизы при приемке товара договором следует предусмотреть процедуру проведения внешней

экспертизы. Для закупки товара – приемка осуществляется путем проведения экспертизы собственными силами и средствами, или путем заключения договора с аккредитованной лабораторией. Во втором случае товар сначала принимается на ответственное хранение на срок, достаточный для отбора образцов товара, передачи их в аккредитованные лаборатории и проведения испытаний. Для закупки работ, услуг – приемка осуществляется в сроки, необходимые для проведения индивидуальных испытаний и, при необходимости, – комплексного опробования.

После сравнения характеристик, полученных в результате испытаний, с характеристиками, указанными в техническом задании, оформляется экспертное заключение с выводом о приемке или отказе в приемке товара.

При приемке работ, в составе которых присутствует светотехническое оборудование, следует подвергать испытаниям или получить документальное подтверждение выполненных испытаний всех элементов электроустановки: кабельных линий, щитовой продукции, светильников, электроустановочной арматуры и т. д.

Светильники должны быть сконструированы и изготовлены так, чтобы при нормальной эксплуатации они безопасно функционировали и не представляли угрозы здоровью и жизни людей и окружающей среде. Как правило, соответствие этим требованиям проверяют проведением испытаний в аккредитованных организациях с последующей выдачей сертификатов соответствия требованиям технических регламентов.

Важно! Иногда поставщики предлагают своим клиентам приобрести не светильник в сборе, а его отдельные компоненты: например, светодиодную ленту и блок питания. «Светильник» предлагается собрать уже на месте. Каждый из этих компонентов может быть сертифицирован, но, как было упомянуто выше, сертификат выдается по результатам испытаний безопасности, а в такой ситуации компоненты не были испытаны вместе. Таким образом, производитель не гарантирует, что эти компоненты не вызовут короткого замыкания, пожара или других опасных ситуаций. Следовательно, для безопасной эксплуатации и обеспечения сохранности музейных предметов и экспонатов приоритет необходимо отдавать закупке изделий в сборе, испытанных и сертифицированных по всем правилам. Состав изделия в сборе должен включать источник света и все компоненты до точки присоединения к питающей сети. Например, световой блок витрины и т. п.

При выборе варианта закупки по частям, следует принимать во внимание то обстоятельство, что све-

1. Изделие: Лампа светодиодная 2W 2700K
 Номер образца: 0466/18
 Заявитель: ФГБУК «Государственный Эрмитаж»
 Адрес заявителя: 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., д. 34
 Изготовитель: Philips Lighting B.V.
 Адрес изготовителя: 5600 г. Эйндховен, 80020, Нидерланды.



Рис. 51. Пример образца из партии ламп, отобранного для проведения испытаний аккредитованной лабораторией

6. Измерение светотехнических и электрических характеристик:

№ п/п	Измеренный параметр	Измеренное значение
1	Световой поток лампы Φ , лм	95
2	Потребляемый ток I , мА	15,6
3	Потребляемая мощность P , Вт	1,9
4	Коэффициент мощности	0,53
5	Световая отдача η_v , лм/Вт	50
6	Цветовая температура T_c , К	2 600
7	Индекс цветопередачи R_a	87
8	Класс энергетической эффективности	A

Рис. 52. Пример выписки из протокола испытаний

тильник должен применяться в электрической сети, параметры которой (напряжение, частота) соответствуют указанным в паспорте. Если светильник рассчитан на работу в сети сверхнизкого напряжения (менее 50 В), то тогда следует подвергать испытаниям ту часть электроустановки, которая выполняет функцию трансформации параметров питающей сети, например, 380/220 В 50 Гц, в параметры сети сверхнизкого напряжения, например, 24 В. На практике такие испытания трудно реализуемы, в след-

ствие чего рекомендуется использовать светильники, прошедшие лабораторные испытания в том виде, как они будут использоваться в реальной обстановке, включая питающий шнур, с помощью которого они будут присоединены к стандартной электрической сети 380/220 В, 50 Гц. В противном случае следует требовать от исполнителя разработки рабочей документации на вновь создаваемую сеть сверхнизкого напряжения и проводить испытания этой сети после ее монтажа.

Выполняемые работы по монтажу, установке и настройке оборудования в музеях должны соответствовать следующим нормативным документам:

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 года № 197-ФЗ – раздел X «Охрана труда»;
- постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 года № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации»;
- ГОСТ 12.0.230-2007 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования»;
- Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Перед началом проведения работ работникам поставщика необходимо пройти инструктаж по охране труда и по пожарной безопасности в объекте проведения работ. Инструктаж проводит специалист по охране труда или работник, на которого приказом работодателя (или уполномоченного им лица) возложены эти обязанности.

Если работы выполняются подрядной организацией, подрядчик обеспечивает и несет ответствен-

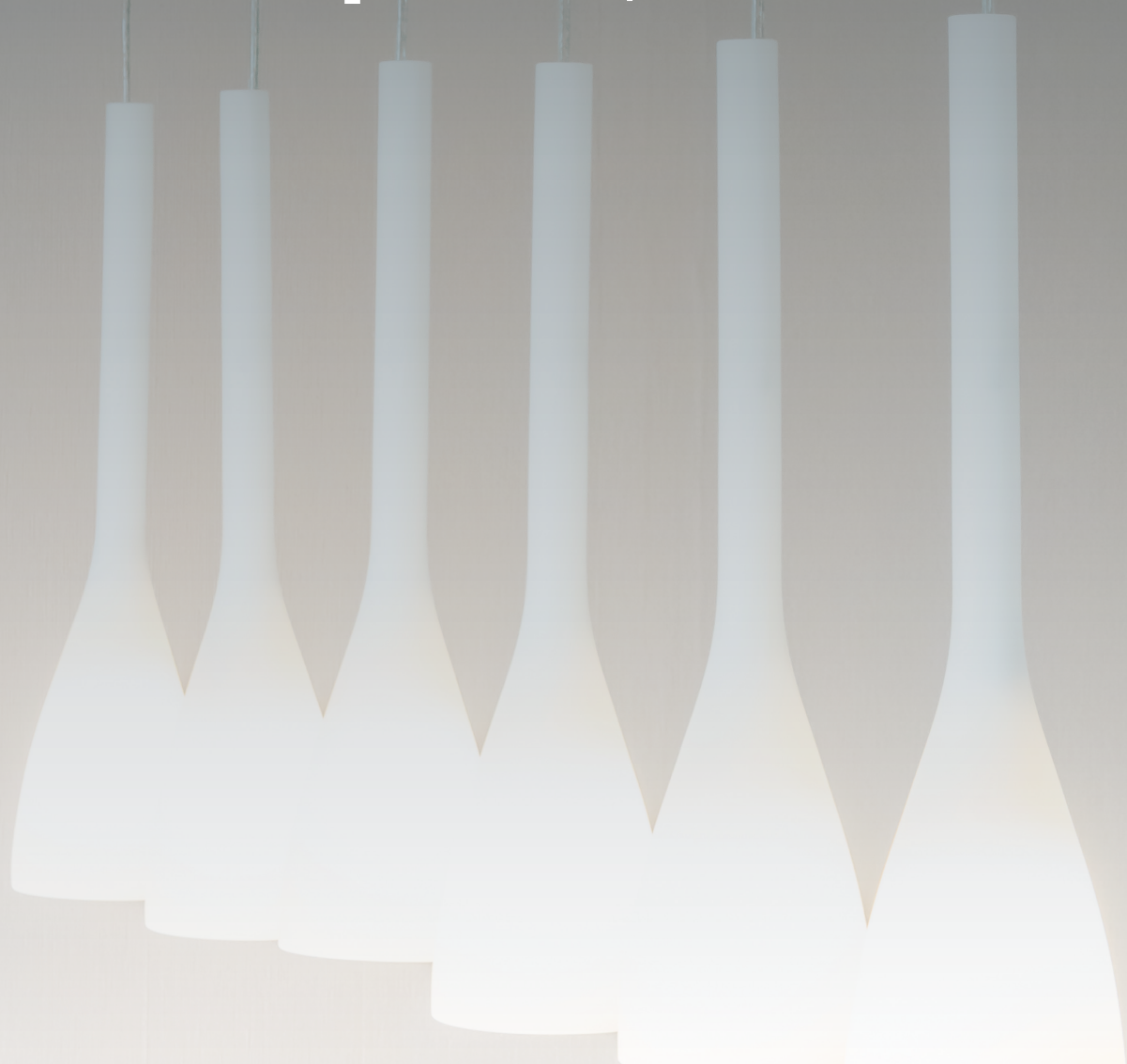
ность за соблюдение работниками установленных требований безопасности, норм охраны труда, санитарных норм, противопожарной безопасности и экологической безопасности, а также соблюдение правил внутреннего трудового распорядка установленного на территории заказчика.

К работе с электроинструментом и электрооборудованием допускаются специалисты, имеющие соответствующий допуск к «производству работ в электроустановках» в соответствии с правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, не ниже II группы по электробезопасности до 1000 В; к работе в действующей электроустановке – не ниже III группы по электробезопасности (Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок утверждены приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года № 903н). В случае проведения работ по установке и настройке с применением электроинструмента на аккумуляторной батарее, к работе допускаются специалисты, которые прошли инструктаж I группы электробезопасности.

15

РАЗДЕЛ

**Некоторые аспекты эксплуатации
систем электроосвещения**



Для исправной и безаварийной работы сетей электроосвещения должно осуществляться техническое обслуживание и ремонт. Техническое обслуживание (ТО) включает в себя целый ряд работ и мероприятий, которые обеспечивают работоспособность и исправность оборудования. ТО проводят с целью профилактики и предотвращения поломок, замены вышедших из строя отдельных составных частей (мелкий и средний ремонт). Текущий ремонт рекомендуется выполнять в соответствии с планами работ, составленными на основании результатов весенних и осенних осмотров. Капитальный ремонт и модернизация проводится в связи с выработкой ресурса, физическим износом, отсутствием на рынке запасных частей и технической поддержки со стороны производителя оборудования, необходимости внедрения новых технологий и т.п., а также для усовершенствования сетей и отдельных, входящих в них, элементов.

Комплекс работ с целью поддержания эксплуатационных показателей на изначально предусмотренном уровне сетей внутреннего и наружного освещения и их элементов, включает в себя:

- проведение технического обслуживания и планового ремонта, восстановительного ремонта в случае аварийных ситуаций;
- накопление и изучение опыта эксплуатации оборудования;
- выявление и установление оптимальной периодичности и длительности проведения планово-предупредительных и текущих ремонтов;
- составление графиков технического обслуживания, учитывающего конкретные условия по использованию оборудования;
- контроль качества осуществляемых работ по ремонту и контроль результата по состоянию отремонтированного оборудования;
- анализ и сравнение параметров и показателей технического состояния оборудования до и после ремонта по результатам испытаний.

Техническое обслуживание – это основное профилактическое мероприятие, необходимое для обеспечения надежной работы осветительного оборудования. Оно сокращает общий объем ремонтных работ и позволяет отслеживать состояние оборудования.

Техническое обслуживание проводится в процессе работы оборудования (без длительного вывода из эксплуатации) с использованием его перерывов в работе, что позволяет не препятствовать нормальному ходу работы основного комплекса музея.

В состав технического обслуживания входят систематический надзор за работой оборудования, эксплуатационный уход, содержание оборудования в исправном состоянии, включающие следующие позиции:

- соблюдение условий использования и графика работы оборудования в соответствии с инструкцией производителя;

- ограничение нагрузки на оборудование в соответствии с паспортными данными, недопущение и предотвращение перегрузки оборудования;
- строгое соблюдение установленных норм использования режимов работы электросетей;
- возможность осуществить немедленную остановку оборудования в случае нарушений его нормальной работы, ведущих к выходу оборудования из строя, принять меры по обнаружению и устранению таких нарушений;
- выявление степени изношенности и работоспособности отдельных элементов сети внутреннего и наружного освещения, доступных для осмотра, и деталей и их своевременная замена;
- проверки выполнения оперативным и оперативно-ремонтным персоналом манипуляций по ТО энергетического оборудования и оценки качества и полноты этих манипуляций;
- обнаружения дефектов, которые могут стать причиной поломки или неожиданного выхода оборудования из строя.

Работы по обслуживанию электрооборудования сетей внутреннего и наружного освещения должен осуществлять квалифицированный персонал, прошедший подготовку по специальности электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

Подготовка работников организации, включая проведение обязательных форм работы с персоналом, поддержание и повышение его квалификации, должны соответствовать требованиям, изложенным в Правилах работы с персоналом в организациях электроэнергетики РФ.

Электромонтер, выполняя работы по обслуживанию электрооборудования, сетей внутреннего и наружного освещения, должен руководствоваться:

- Правилами устройства электроустановок;
- Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии;
- Инструкцией по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках;
- СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»;
- Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок;
- Правилами по охране труда при работе на высоте;
- Правилами противопожарного режима в Российской Федерации;
- Правилами по охране труда при работе с электроинструментом и приспособлениями.

Полезная литература для изучения

- Музейное хранение художественных ценностей. Практическое пособие. М.: ГосНИИ Реставрации, 1995.
- Насыбуллина Р.А. Архитектурно-художественная роль естественного света в формировании внутреннего пространства зданий в современной архитектуре // Автореферат дис. к-та архитектуры. Н. Новгород, 2018.
- Научно-технический журнал «Светотехника». Спецвыпуск «Свет в музее». М., 2018.
- Рекомендации по проектированию музеев / ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева. М.: Стройиздат, 1988.
- Свет: Воздействие на произведения искусства. Пер. с англ. М.: Мир, 1983.
- Commission Internationale de l'Éclairage. CIE 157:2004. Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation. Vienna, Austria: CIE, 2004.



ДОПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА



АССОЦИАЦИЯ «БЕЗОПАСНОСТЬ ТУРИЗМА»

115035, г. Москва, Садовническая набережная, д. 7

Тел.: + 7 (495) 151-82-53 (многоканальный)

e-mail: info@tourismsafety.ru

www.tourismsafety.ru