

# Сравнение светодиодных и «традиционных» источников света по применимости к музейному освещению<sup>1</sup>

А. БХАТТАЧАРДЖИ, С. МАЗУМДАР

Кафедра светотехники электротехнического факультета Джадавпурского университета, Колката, Индия  
E-mail: bhattacharjee.amrita1@gmail.com

## Аннотация

Главное в музее – демонстрация экспонатов. Эффективное освещение последних предполагает создание нормируемых уровней освещённости, снижение ИК и УФ составляющих излучения и минимизацию текущих расходов на электроэнергию. Эти требования вполне выполнимы с помощью сравнительно маломощных светодиодных (СД) ламп. СД-лампы имеют большие полезный срок службы и световую отдачу. СД могут излучать свет разного цвета, их излучение имеет малые ИК и УФ составляющие и они могут иметь высокие индексы цветопередачи  $R_a$ , что важно для освещения музейных экспонатов. Проектирование музейного освещения требует тщательного и гибкого подхода, позволяющего создавать оптимальные условия для демонстрации экспонатов. Основанный на применении СД энергосберегающий подход к проектированию освещения наследия прошлого поможет обеспечить «зелёное» будущее.

**Ключевые слова:** спектральная плотность распределение энергии излучения, удельная мощность, освещённость, УФ, светочувствительный.

## Введение

Основные обязанности музеев – изучение и сохранение своих коллекций и их эффективная демонстрация. Поэтому освещение считается второй по значимости заботой проектировщиков. Без эффективного освещения теряют свою привлекательность даже самые интересные коллекции и экспонаты. Однако освещение может ускорять деградацию целого ряда музейных экспонатов, и в данном исследовании стави-

лась задача выяснения пригодности разных источников света для освещения музеев. Проведённые эксперименты и расчёты показали, что СД источники света (ИС) наилучшим образом подходят для освещения музейных экспонатов.

## Видимость и уровень освещения

Уровень музейного освещения должен тщательно регулироваться, с тем чтобы не допустить повреждения произведений искусства оптическим излучением. Как известно [1], максимально допустимая освещённость на высокочувствительных ма-

териалах – 50 лк. На основе результатов экспериментов, проведённых на японских картинах (мозаичные цветные образцы красных, жёлтых, зелёных и синих натуральных минеральных красок и сусального золота), было установлено, что их субъективное восприятие при освещённости 10 лк от RGB-СД ИС почти такое же, как при освещённости 700 лк от белых люминесцентных ламп и ВУ-СД ИС [2]. Это обусловлено различиями этих ИС по спектру излучения.

Так что цветовой облик объекта при освещении СД ИС оказывается не таким, как при освещении «традиционными» ИС. Результаты экспериментов говорят о том, что и при слабом освещении использование RGB-СД ИС предпочтительнее, чем других ИС.

## Вредное воздействие источников света на произведения искусства

Освещённость поддерживается низкой для предотвращения выцветания красок. С другой стороны, в соответствии с эффектом Ханта [3], по мере уменьшения освещённости

Рис. 1. Зависимость температуры в камере при использовании разных источников света от температуры наружного воздуха (измерения проводились с ноября 2013 г. по январь 2014 г. Показаны только максимальные и минимальные значения температуры)

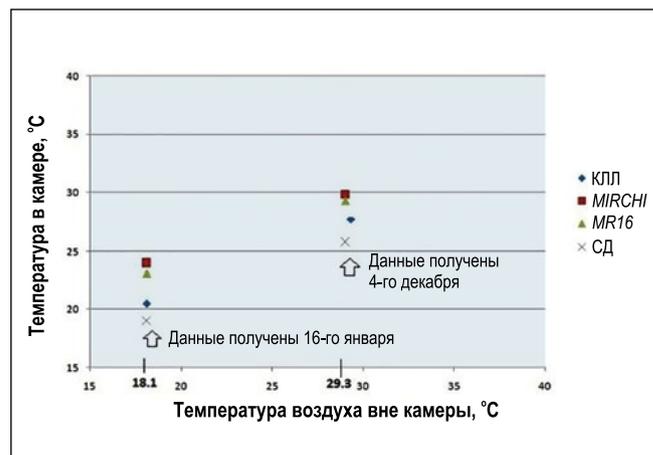
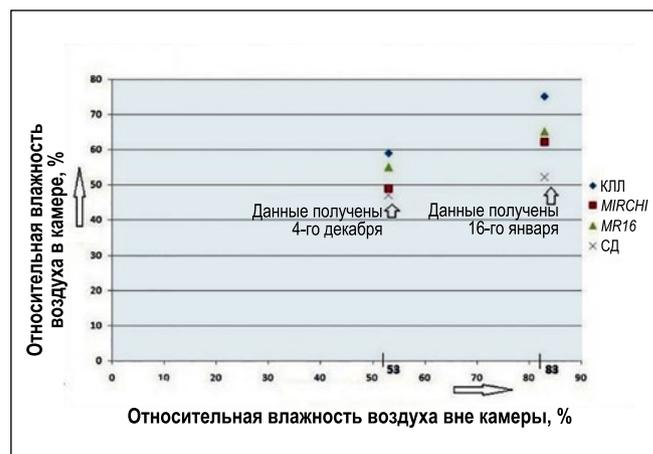


Рис. 2. Зависимость влажности в камере при использовании разных источников света от влажности наружного воздуха



<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

Уровни излучения разных источников света в спектральных зонах УФ-А, УФ-В и УФ-С

Лампа	УФ-А, мкВт/см <sup>2</sup>	УФ-В, мкВт/см <sup>2</sup>	УФ-С, мкВт/см <sup>2</sup>
КЛЛ	9	0,3	0,8
ГЛН <i>Mirchi</i>	1,9	0,1	7,5
ГЛН <i>MR16</i>	1,7	0,1	7
СД лампа	8,5	0	0,7



Рис. 3. Картины-свитки в Бенгальской галерее



Рис. 4. Смоделированное посредством «DIALux» изображение существующей осветительной установки в Бенгальской галерее

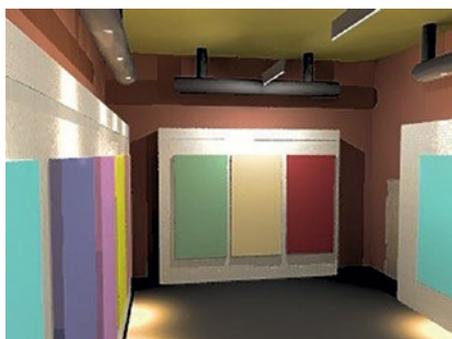


Рис. 5. Смоделированное посредством «DIALux» изображение предлагаемой осветительной установки для Бенгальской галереи

уменьшаются яркость и многокрасочность цветных объектов. В Джадавпурском университете проводятся самые разные лабораторные исследования вредного воздействия ИС на картины. В лабораторных условиях был проведён эксперимент в закрытом боксе, в рамках которого картины освещались лампами четырёх типов. Этот эксперимент дал представление о вредном воздействии разных ИС на картины<sup>2</sup>. В течение всего ис-

<sup>2</sup> Для очень чувствительных музейных экспонатов предельной является экспозиция 150000 лк·ч в год [1]

следования все экспериментальные данные регистрировались. Так как картины очень чувствительны к нагреву и влажности, из всех экспериментальных данных нас интересовали лишь значения температуры и влажности. Некоторые данные о температуре и относительной влажности, полученные в зимний период с ноября 2013 г. по январь 2014 г., приведены на рис. 1 и 2 [7].

Из рис. 1 и 2 следует, что повышенные температуры и изменение относительной влажности в камере с СД ИС были меньшими, чем в камерах с другими ИС. Поэтому можно ожидать, что степень повреждения картин освещением СД ИС окажется меньше, чем освещением другими ИС.

На основе упомянутых выше экспериментальных данных сделан вывод, что растрескивание красок, то есть повреждение их продолжительным нагревом, и выцветание красок, то есть фотохимическая деградация их поверхности, зависящая от влажности воздуха, в случае СД ИС оказываются меньшими, чем при освещении другими ИС. Так что при музейном освещении СД ИС рекомендуемые сейчас освещённости можно поднять, что, согласно эффекту Ханта, приведёт к повышению яркости и многоцветности картин.

(50–75 лк в течение дня при работе музея 8 ч в день, 6 дней в неделю, 300 дней в году). Так что предельные экспозиции – 500 лк·ч в день, 3000 лк·ч в неделю и 150000 лк·ч в год. Однако для проведения экспериментов, особенно на акварелях, были выбраны циклы с экспозицией 30000 лк·ч. В соответствии с законом взаимозаместимости Бунзена-Роско и особенностями фотохимических реакций [4, 5], производимые светом повреждения прямо пропорциональны произведению интенсивности освещения на время экспонирования (см. также [6]).

### Воздействие на картины УФ излучения

УФ излучение очень вредно для художественных экспонатов, так как оно глубоко проникает в экспонаты. Оно оказывает деградирующее действие на многие полимеры, ткани, бумагу и картины [8]. В зависимости от длины волны и энергии фотонов различают несколько диапазонов УФ излучения: УФ-А, УФ-В и УФ-С. Излучение в диапазоне УФ-С имеет наименьшие длины волн и наибольшие энергии фотонов, и потому вреднее для произведений искусства, чем излучение в диапазонах УФ-А и УФ-В. Соответственно, были измерены уровни излучения ИС, использовавшихся в лабораторных исследованиях, в диапазонах УФ-А, УФ-В и УФ-С, в виде уровней облучённости, в мкВт/м<sup>2</sup>, (табл. 1) [6].

Из табл. 1 видно, что у экспериментальной СД лампы УФ-В излучение отсутствует, а УФ-С излучение меньше, чем у остальных исследованных ИС. Так что СД ИС менее вредоносны, чем остальные ИС, и подходят для музейного освещения, особенно для освещения светочувствительных объектов (то есть картин, тканей).

### Энергоэффективность разных источников света

Нами проведено исследование существующих осветительных установок (ОУ) музеев Западной Бенгалии, Индия, и их энергоэффективности [6]. Анализ его результатов показал, что в большинстве случаев эти ОУ энергонезаэффективны. Так, было установлено, что Бенгальская галерея музея *Howrah Zilla* (Ховрах, Западная Бенгалия), которая хранит картины-свитки, освещается «традиционными» ИС технически неграмотно. Су-

шествующая ОУ Бенгальской галереи показана на рис. 3. Освещённость на картинах измерялась люксметром «METRAVI 1332».

Результаты измерений (табл. 2) говорят о том, что средняя освещённость на картинах – 230–300 лк, а, по стандарту *IS3646* [9], должна быть  $\leq 50$  лк.

Была также рассчитана мощность, идущая на освещение этой галереи (табл. 3).

В результате установлено, что галерея площадью всего 50,4 м<sup>2</sup> потребляет 1508 Вт мощности, то есть удельная установленная мощность (УУМ) – 29,92 Вт/м<sup>2</sup>. При этом, по рекомендациям *ЕСВС2011* [10], УУМ в музейном освещении должна составлять  $\leq 11,8$  Вт/м<sup>2</sup>. Так что можно утверждать – уровни освещения и энергопотребления в Бенгальской галерее не соответствуют нормативным требованиям.

На рис. 4 приведены результаты моделирования с помощью программы «*DIALux*» существующей ОУ в Бенгальской галерее музея *Howrah Zilla*, демонстрирующие избыточную освещённость на картинах.

Поэтому с помощью этой программы была спроектирована новая ОУ, с трубчатыми СД лампами и светильниками с СД направленного света [11]. Результаты расчётов приведены в табл. 4 и 5. УУМ с предлагаемой ОУ понизится до 1,64 Вт/м<sup>2</sup>, что удовлетворяет требованиям *ЕСВС2011* [10]. Из табл. 4 также следует, что средняя освещённость на картинах составит в этом случае 40 лк, что удовлетворяет требованиям стандарта [9]. В целом, очевидно, что модернизация ОУ с заменой используемых сейчас ИС на СД ИС поможет снизить энергопотребление. При этом может обеспечиваться освещение, удовлетворяющее нормативным требованиям.

На рис. 5 приведено смоделированное с помощью «*DIALux*» изображение предлагаемой ОУ для Бенгальской галереи музея *Howrah Zilla*. Видно, что уровни освещения на картинах соответствуют нормативным требованиям, а пространство в целом выглядит более светлым.

### Заключение

Удачный проект музейного освещения должен соответствовать требо-

### Средние измеренные значения освещённости

Название картины	Освещённость (измеренная в витрине без защитного стекла), лк
Спор между Гангой и Дургой	290
Кришна Леела	226

Таблица 3

### Мощность, идущая на освещение Бенгальской галереи

Тип лампы	Кол-во ламп, шт.	Мощность, Вт	Общая мощность, Вт
ГЛН <i>MR16</i>	26	26 × 50	1300
ЛЛ <i>T 12</i> холодно-белого света	4	4 × (40 + 12)	208
<b>Всего</b>			<b>1508</b>

Таблица 4

### Результаты проведённых при помощи «*DIALux*» расчётов характеристик осветительной установки, предлагаемой для Бенгальской галереи

$E_{ср}$ , лк	$E_{мин}$ , лк	$E_{макс}$ , лк	$U_o$	$E_{мин}/E_{макс}$
40	35	52	0,88	0,67

Таблица 5

### Расчёт мощности для предлагаемого проекта освещения картин-свитков в Бенгальской галерее

Тип лампы	Кол-во ламп, шт.	Мощность, Вт	Общая мощность, Вт
СД трубчатая, 19 Вт	3	3 × 19	57
Светильник с СД направленного света с узким пучком, 1 Вт	26	1 × 26	26
<b>Всего</b>			<b>83</b>

ваниям к энергосбережению и к внешнему виду и сохранности картин. Благодаря своим уникальным характеристикам СД ИС прекрасно подходят для музейного освещения [12]. По наличию УФ составляющей излучения, нагреву экспонатов, изменению влажности и прочих связанных с ИС вредных воздействий на светочувствительные материалы СД ИС имеют преимущества перед «тради-

ционными» ИС. Кроме того, СД ИС потребляют мало энергии, способны усиливать эстетическое восприятие произведений искусства и улучшать для этого восприятия условия окружающей среды, что, в свою очередь, соответствует эффекту Ханта. Таким образом, использование СД ИС в проектируемых традиционными методами ОУ предпочтительнее использования «традиционных» ИС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Illuminating Engineering Society of North America, *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*, Ninth Edition.
2. Nakajima, Y., Fuchida, T. A study on the evaluation method of colour rendering properties of museum lighting at low illuminance. CIE, 2014. P. 513–521.
3. Hunt, R.W.G. Light and dark adaptation and the perception of colour // J. Opt. Soc. Am. – 1952 – Vol. 42. – P. 190–199.
4. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022191012002958>.
5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23220191>.
6. Bhattacharjee, A. Thesis on 'Studies and Design of Energy-efficient Museum Lighting', Jadavpur University, 2013.
7. Sarkar, R. Thesis on 'Studies and experiments for determination of degradation of paintings of museum art galleries caused by artificial light sources', Jadavpur University, 2014.
8. Hare, C. The Degradation of Coating by Ultraviolet Radiation // Journal of Protective Coating and Paint.
9. Indian Standard: IS3646(Part I): 1992.
10. Energy Conservation Building Code – 2011.
11. Philips Lighting Handbook.
12. Zhai, Q.Y., Luo, M.R., Liu, X.Y. The impact of the luminance levels and colour temperature on viewing fine art under LED lighting, CIE, 2014. P. 72–81.



**Амрита Бхаттачарджи (Amrita Bhattacharjee),**  
M.E. по светотехнике (2013 г.). Окончила в 2011 г. Технический университет Западной Бенгалии.

Доцент Бирбхамского инженерно-технологического института, Бирбхам, Индия. Специалист по музейному освещению



**Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar),** Ph.D. Профессор кафедры светотехники электротехнического факультета Джадавпурского университета, Колката, Индия.

Имеет 27-летний опыт исследований и преподавания в области светотехники

## Поздравляем с юбилеем!

### Раисе Иосифовне Столяревскую

8 марта 2016 г. доктор технических наук, член редакционной коллегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering» Раиса Иосифовна Столяревская отметила свой юбилей.

Раиса Иосифовна окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета и несколько лет занималась физикой полимеров (ВНИПинефть, Москва), чему были посвящены первые публикации и небольшая монография по экологической проблеме фоторазрушаемых в естественных условиях полимерных отходов.

С 1976 г., перейдя во ВНИИОФИ, Р.И. Столяревская, стала заниматься измерениями параметров приёмников и источников оптического излучения. Она принимала самое активное участие в проводимых во ВНИИОФИ работах по поиску истинного значения максимальной спектральной световой эффективности, разработке методов воспроизведения единиц силы света и светового потока на основе определения канделы 1969 г. При её непосредственном участии были введены в строй государственные первичные эталоны в области фотометрии.

Вслед за этим началась большая международная работа по сличению фотометрических величин, созданию шкалы спектральной чувствительности приёмников оптического излучения, методам и средствам измерений световых величин на прецизионном уровне и на уровне технических измерений, в том числе для решения задач сертификации продукции, а также по развитию мето-



дов детекторной фотометрии. В 1987 г. Р.И. Столяревская успешно защитила кандидатскую диссертацию, а в январе 2001 г. – докторскую.

Р.И. Столяревской опубликовано более 140 научных работ в отечественных и зарубежных журналах, и она – соавтор 9 монографий по измерениям параметров оптического излучения.

Раиса Иосифовна является представителем Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО.

Проработав во ВНИИОФИ с 1976 по 2002 гг., Р.И. Столяревская прошла путь от м.н.с. до руководителя сектора фотометрии. Награждена нагрудным знаком «Изобретатель СССР», медалью «В память 850-летия Москвы», нагрудным знаком «За заслуги в стандартизации», знаком отличия в труде «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

С 2002 г. жизнь и работа Р.И. Столяревской практически неразрывно связаны с жизнью редакции журнала «Светотехника» и ВНИСИ им. С.И. Вавилова, где, с 2008 г., она сотрудничает с международной группой по линии связей с МКО и с Испытательной лабораторией в области разработки нестандартных методик измерений световых, цветовых и фотобиологически опасных параметров световых приборов со светодиодами.

Редколлегия и редакция журнала, коллеги и друзья поздравляют Раису Иосифовну с юбилеем и желают ей крепкого здоровья, благополучия, успехов, удачи и сохранения на долгие годы энергии и творческой активности.