

О выборе спектра излучения и конструкции источников света с целью надлежащей демонстрации и поддержания сохранности картин

Р.Ф. АЙМАТ, Ф.С. АРАНА, Ж.Р. ПУЙОЛ¹, Х.Д. САНДОВАЛ

Каталонский технический университет, Барселона, Испания; Тукуманский национальный университет, Сан-Мигель-де-Тукуман, Аргентина

Аннотация

Описана новая методика выбора спектра излучения (СПИ) источников света для музеев. Она основана на получении типичного спектрального распределения коэффициента отражения (ТСРКО) для каждой из картин и последующего освещения её источником света, форма СПИ которого повторяет форму ТСРКО объекта. Это должно минимизировать повреждение объекта, при условии, что его порча воздействием излучения обусловлена поглощением энергии. Для оценки качества демонстрации были рассчитаны цветовые различия для трёх основных цветов образцов картин, освещаемых излучателем (И) МКО D65 и смоделированными И, СПИ которых подобны ТСРКО освещаемых объектов. Результаты обычно лежат в пределах 3 единиц CIELAB, что считается допустимым отклонением для нормального воспроизведения цвета.

Ключевые слова: методика, спектральное распределение коэффициента отражения, излучатели, демонстрация, сохранность.

1. Введение

Современные правила освещения музеев, направленные на сохранение выставленных экспонатов, основаны на двух критериях: классификации объектов в соответствии с опасностью их порчи воздействием излучения и нормируемых значениях полной суммарной экспозиции [1, 2]. Так как при воздействии излучения определённая порча экспонатов неизбежна по физическим причинам [3], то возникает потребность в получении наиболее точной информации о ней, в первую очередь связанной с харак-

теристиками материалов, и о методах, позволяющих предсказывать воздействие на экспонаты видимого и невидимого излучений.

Гипотезы, лежащие в основе реализуемого в настоящее время проекта, состоят в следующем: а) имеется возможность получения спектрального распределения коэффициента отражения картины или выставочного экспоната, достаточно хорошо характеризующего всю поверхность объекта [4]; б) освещение картины или выставочного экспоната источником света, СПИ которого повторяет по форме ТСРКО объекта, наносит объекту минимальные повреждения, при условии, что порча объекта под воздействием излучения связана с поглощением энергии [3]. Зрительный стимул, обусловленный взаимодействием ТСРКО и источника света, СПИ которого соответствует этому ТСРКО, обеспечивает адекватное и приемлемое выполнение музейных требований.

2. Методика

При разработке методики получения СПИ мы исходили из того, что спектральное распределение коэффициента отражения может считаться типичным для картины или выставочного экспоната, если оно включает в себя спектральные характеристики различных участков объекта, которые пропорционально учитываются

при получении результирующего распределения [5].

При описании картин – а точнее, репродукций картин, которые использовались для получения спектральных распределений коэффициентов отражения, – они рассматривались как совокупности цветных участков, распределённых по поверхности случайным образом. При этом важное значение имеют следующие параметры: количество точек измерения, позволяющее получить достаточную информацию обо всех частях поверхности картины, и пропорции, в соответствии с которыми соответствующие разным участкам результаты измерений входят в результирующее спектральное распределение [5].

В качестве образцов были выбраны четыре репродукции картин, которые рассматривались как совокупности цветных участков поверхности, от чётко отличающихся друг от друга и имеющих простую форму, как на картине Пита Мондриана «Composition with Red, Yellow and Blue» (1921 г.), обозначенной, как M1, до трёх более хаотично окрашенных картин Пола Климта: «Farbtafel» (1930 г.), «Arkitektur» и «Highway», обозначенных как M2, M3 и M4 соответственно (рис. 1).

Коэффициенты отражения измерялись при помощи спектрометра «Spectrascan PR715», и полученные данные использовались для формирования ТСРКО всех образцов. При проведении этих измерений в качестве источника света использовалась лампа накаливания, работавшая при токе 45 А. Измерения производились в специальной камере с нетекстурированными внутренними стенками. Задача состояла в том, чтобы произвести достаточное количество отдельных измерений поверхности, предварительно разбитой на сектора, которые позволили бы охватить все присутствующие на этой поверхности цвета и все переходные участки [6].



Рис. 1. Выбранные репродукции картин (M1, M2, M3, M4)

¹ E-mail: pujol@oo.upc.edu

Перевод с англ. Е.И. Розовского

Таблица 1

Результаты: показатель деградации
(излучатели МКО и *MATCH 1*
для *M1*)

	Излучатель МКО	Показатель деградации для ТСРКО <i>M1</i>
1	<i>MATCH 1</i>	0,00
2	<i>B</i>	10,16
3	<i>D50</i>	12,64
4	<i>E</i>	13,58
5	<i>A</i>	14,47
6	<i>F11</i>	14,52
7	<i>F2</i>	15,80
8	<i>D65</i>	26,27
9	<i>C</i>	29,02
10	<i>F7</i>	32,22
11	<i>D75</i>	36,67

Таблица 2

Результаты: показатель деградации
(излучатели МКО и *MATCH 2*
для *M2*)

	Излучатель МКО	Показатель деградации для ТСРКО <i>M2</i>
1	<i>MATCH 2</i>	0,00
2	<i>B</i>	15,20
3	<i>D50</i>	15,73
4	<i>E</i>	22,36
5	<i>A</i>	23,72
6	<i>F11</i>	26,50
7	<i>F2</i>	29,73
8	<i>D65</i>	41,37
9	<i>C</i>	43,66
10	<i>F7</i>	44,57
11	<i>D75</i>	36,67

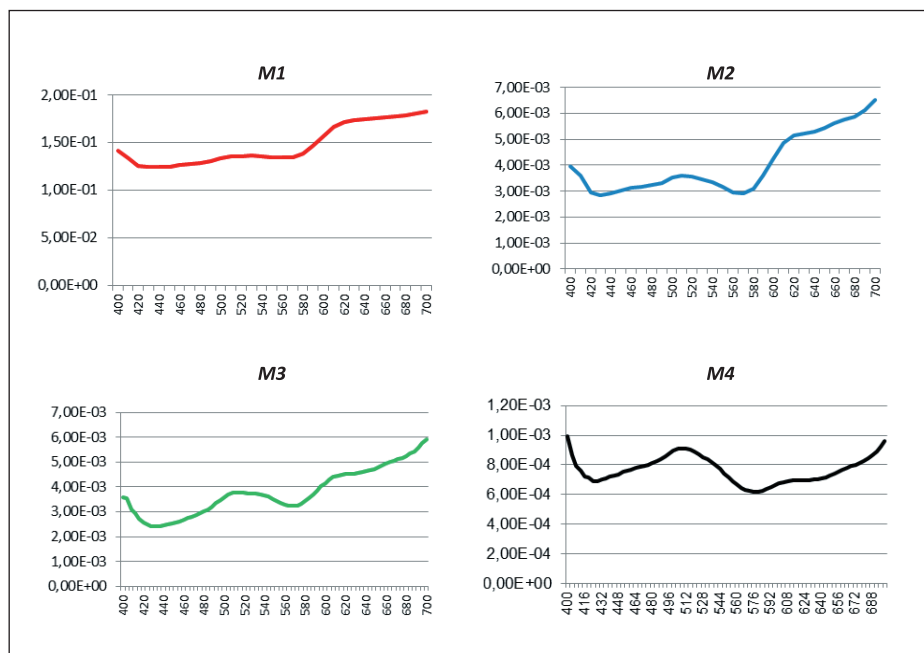


Рис. 2. Типичные спектральные распределения коэффициента отражения (ТСРКО) для образцов

Был разработан алгоритм получения спектральных распределений. Он состоял во взвешивании всех результатов измерений, всех цветов и всех цветных зон с формированием в итоге обобщённого спектрального распределения.

Алгоритм включает в себя получение соотношения между результатами каждого из измерений и результатом, относящимся ко всей поверхности в целом, а также усреднённого соотношения между результатами, полученными применительно к ка-

ждой из цветных поверхностей, и результатом, относящимся ко всей поверхности в целом. Это осуществлялось вначале применительно к каждому из секторов, на которые была разделена поверхность, а затем ко всей поверхности в целом. Полученная кривая представляла собой ТСРКО рассматриваемой репродукции картины.

Важной частью алгоритма является определение весового вклада каждого измерения и каждого цветного участка в результирующее спектральное

распределения коэффициента отражения. Были использованы два способа. Первый состоял в определении коэффициента площади (*area proportion index*) $K_{пл}$, который выражал весовой вклад каждого из измерений в виде отношения площади соответствующего сектора к общей площади картины (этот способ является следствием разделения картины на сектора, соответствующие разным цветам, и проведения измерений в каждом из этих секторов). Затем значение $K_{пл}$ умножалось на соответствующие спектральные данные, и полученный результат считался взвешенным вкладом этого измерения в результирующее ТСРКО.

Второй способ определения весовых вкладов результатов измерений, соответствующих разным цветным зонам, в ТСРКО состоял в анализе гистограмм цифровых изображений образцов. При этом устанавливалась связь между распределением *RGB*-пикселей во всех гистограммах измерений, произведённых в разных цветных зонах, и распределением *RGB*-пикселей в пределах всего цифрового изображения. Эта связь определялась отношением частных и общего распределений *RGB*-пикселей, которое получило название пиксельный коэффициент (*Pixel Quoefficient*) $K_{пикс}$. Затем полученное значение $K_{пл}$ умножалось на соответствующие спектральные данные, и полученный результат считался взвешенным вкладом этого измерения и цветной зоны.

Сравнение ТСРКО, определённых двумя описанными способами, служит подтверждением того, что полученные спектральные распределения коэффициента отражения являются репрезентативным для всех образцов (рис. 2).

Полученные кривые, которые представляли собой ТСРКО исследовавшихся репродукций картин, использовались при выборе СПИ источников света, формы которых совпадали с формами соответствующих ТСРКО и которые были обозначены как *MATCH 1, 2, 3* и *4* в соответствии с ТСРКО, на основе которых они были скомпонованы. Кроме того, они использовались при выборе и оценке СПИ и МКО в соответствии с требованиями к сохраняемости и демонстрации, содержащимися в принятой гипотезе.

3. Оценка стандартных излучателей и источников света применительно к демонстрации и поддержанию сохранности картин

Одна из целей данной работы состояла в разработке методики выбора и оценки И МКО применительно к демонстрации и поддержанию сохранности картин, с тем чтобы их можно было помещать в регулируемый осветительный прибор, который в приемлемой степени обеспечивал бы выполнение этих важных требований к освещению музеев.

Были использованы следующие подходы к выбору И МКО:

- СПИ И МКО должен иметь форму, как можно точнее повторяющую форму ТСРКО образца, который будет освещаться этим И при проведении моделирования. Для определения расхождения между СПИ И МКО и ТСРКО освещаемого образца была разработана соответствующая методика расчёта. Расхождение, рассчитываемое применительно к И и ТСРКО рассматриваемого образца, получило название «показатель деградации» (*deteriorating factor*). Чем меньше показатель деградации, тем есть чем меньше расхождение между двумя спектральными распределениями, тем лучше ожидаемая сохранность картины при освещении её рассматриваемым И МКО. Результаты расчётов показателя деградации приведены в табл. 1–4.

- На основе ТСРКО исследованных образцов *M1*, *M2*, *M3* и *M4* были сформированы четыре И, формы СПИ которых совпадали с формами соответствующих ТСРКО и которые имели требуемую мощность излучения. Эти расчётные И были обозначены как *MATCH 1*, *2*, *3* и *4* в соответствии с ТСРКО, на основе которых они были скомпонованы.

- Так как лежащая в основе этой работы гипотеза предполагает удовлетворение требований к демонстрации картин, то была произведена оценка качества демонстрации цветов образцов на основе цветовых различий в цветовом пространстве МКО $L^*a^*b^*$ [8]. Цветовые различия определялись применительно к цветам, присутствующим на образцах, при освещении этих образцов всеми И МКО и И *MATCH*, причём при измерении цветопередачи в качестве И сравнения выступал И МКО *D65*.

Таблица 3

Результаты: показатель деградации (излучатели МКО и *MATCH 3* для *M3*)

	Излучатель МКО	Показатель деградации для ТСРКО <i>M3</i>
1	<i>MATCH 3</i>	0,00
2	<i>B</i>	13,09
3	<i>D50</i>	15,63
4	<i>E</i>	19,61
5	<i>A</i>	20,06
6	<i>F11</i>	25,45
7	<i>F2</i>	28,17
8	<i>D65</i>	39,71
9	<i>C</i>	41,59
10	<i>F7</i>	41,64
11	<i>D75</i>	51,09

Таблица 4

Результаты: показатель деградации (излучатели МКО и *MATCH 4* для *M4*)

	Излучатель МКО	Показатель деградации для ТСРКО <i>M1</i>
1	<i>MATCH 4</i>	0,00
2	<i>B</i>	7,82
3	<i>D50</i>	8,43
4	<i>E</i>	8,49
5	<i>A</i>	14,46
6	<i>F11</i>	15,66
7	<i>F2</i>	20,33
8	<i>D65</i>	20,69
9	<i>C</i>	23,07
10	<i>F7</i>	23,86
11	<i>D75</i>	24,09

Таблица 5

Цветовые различия $CIE L^*a^*b^*$ (1976) для образцов *M1* – *M4*, освещаемых излучателями *MATCH 1* – *MATCH 1* и *D65*

Образец <i>M1</i>	<i>M1</i>	<i>M4</i>	<i>M14</i>	
Расчёт	3,22	2,24	1,27	
Эксперимент	3,64	2,69	1,38	
Образец <i>M2</i>	<i>M2 19</i>	<i>M2-47</i>	<i>M2b-20</i>	<i>M2c-12</i>
Расчёт	2,30	2,13	1,30	1,19
Эксперимент	3,07	2,56	1,89	1,39
Образец <i>M3</i>	<i>M3 c8</i>	<i>M3 45</i>	<i>M3 b6</i>	<i>M3 d5</i>
Расчёт	2,17	2,98	0,24	0,33
Эксперимент	2,19	2,98	0,25	0,33
Образец <i>M4</i>	<i>M4 a50</i>	<i>M4 e33</i>	<i>M4 g40</i>	<i>M4 c50</i>
Расчёт	0,22	0,11	0,44	0,06
Эксперимент	0,22	0,11	0,44	0,06

4. Результаты

Для всех присутствовавших в образцах цветов в цветовом пространстве МКО $L^*a^*b^*$ были рассчитаны цветовые различия при освещении И *MATCH 1*, *2*, *3* и *4* и И МКО *D65*. Затем СПИ И *MATCH 1*, *2*, *3* и *4* были «загружены» в осветительный прибор с регулируемым спектром излучения, после чего были измерены результирующие СПИ. Полученные данные были использованы для проведения в цветовом пространстве МКО $L^*a^*b^*$ новых расчётов для тех же присут-

ствующих в образцах цветов и И сравнения *D65*. Результаты, полученные на основе расчётных и экспериментальных СПИ, приведены в табл. 5.

5. Заключение

Разработана новая методика выбора и формирования СПИ источников света, предназначенных для обеспечения надлежащей демонстрации и сохранности произведений живописи. Методика была проверена на репродукциях картин. Применительно к демонстрации было установлено, что

как расчётные, так и экспериментальные цветовые различия в цветовом пространстве МКО $L^*a^*b^*$ находятся обычно в пределах 3 единиц МКО $L^*a^*b^*$. Применительно к сохраняемости была проведена оценка И МКО и И, специально подобранных для исследовавшихся образцов, по результатам которой было проведено ранжирование И в соответствии с показателем деградации, обусловленным расхождением между формами ТСРКО образца и СПИ рассматриваемого И.

Полученные СПИ могут использоваться описанным выше образом в музейных осветительных установках, допускающих регулирование спектра излучения. Обеспечение связи между спектральными данными, полученными применительно к освещаемому объекту, и видимым излучением источника света приведёт к важному улучшению возможности управления деградацией объекта при одновременном удовлетворении требований к демонстрации музейных экспонатов. Дальнейшие исследования могут включать в себя эксперименты с участием наблюдателей, а также измерение повреждений музейных экспонатов и проведение оценок, подтверждающих результаты, достигнутые в деле сохранения музейных экспонатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Control of damage to museum object by optical radiation. – Paris: CIE, 2004. – 30 p.
2. Thomson, G. The museum environment. – 2nd edition, ed. Butterworth-Heinemann series in conservation and museology, ed. A. Oddy and D. Lintrum. Oxford, UK, 1994. – P. 160–163.
3. Thomson, G. The museum environment. – 2nd edition, ed. Butterworth-Heinemann series in conservation and museology, ed. A. Oddy and D. Lintrum, Oxford, UK, 1994. – P. 290–293.
4. Ribes, A. et al. Calibration and spectral reconstruction for CRISATEL: An art painting multispectral acquisition system // Journal of imaging science and technology. – 2005. – Vol. 49, No. 6. – P. 563–573.
5. Araujo, P., Maciel Linhares, J., Cardoso Nascimento, S. Colour rendering of art paintings under CIE illuminants for normal and deficient observers // Journal of the Optical Society of America. – 2010. – Vol. 26, No. 7. – P. 1668–1670.
6. Araujo, P., Maciel Linhares, J., Cardoso Nascimento, S. Colour rendering of art paintings under CIE illuminants for normal

and deficient observers // Journal of the Optical Society of America. – 2010. – Vol. 26, No. 7. – P. 1671–1677.

7. Boyce, P. R. New approaches to lighting. Butterworth – Heinemann. Oxford, UK, 2006. – P. 5–13.

8. CIE. Commission Internationale de L'Eclairage (2004a). Commission Internationale de L'Eclairage. – Paris: CIE, 2004. – 132 p.



Рауль Аймат (Raúl Ajmat), Ph.D.
Профессор
Тукуманского
национального
университета



Фернандо С. Арана (Fernando Arana S.), M.Sc.
(2010 г.). Окончил
в 1996 г. Лаплатский
национальный
университет,
Аргентина.
Докторант (Ph.D.)

Оптического факультета Каталонского
технического университета



Жауме Рамо Пуйол (Jaume Ramo Pujol), Ph.D.
(1990 г.). С 1984 г.
преподаёт
в Каталонском
техническом
университете
(зрение и цвет).
Область научных

интересов: цветное и мультиспектральное
отображение образов, промышленная
колориметрия и зрительная биофотоника.
Автор более 75 статей, более 150 докладов
на конференциях, 4 книг по физиологической
оптике и цвету и 8 патентов. Основной
владелец компании VISIOMETRICS S.L.



Хосе Д. Сандовал (José D. Sandóval), M.Sc. Профессор
Тукуманского
национального
университета

ПИСЬМА ЧИТАТЕЛЕЙ

Уточнение и дополнение ответа на письмо М.В. Клигмана об отклонениях напряжения и потере напряжения в электроустановках 0,4 кВ (см. журнал «Светотехника». – 2014. – № 5. – С. 57–58)

По нашему запросу Технический комитет по стандартизации ТК 337 «Электрические установки зданий» сообщил следующее: «За источник питания в контексте ГОСТ Р 50571.5.52–2011 «Электропроводки» следует принимать распределительный щит (щиток), непосредственно питающий приёмник электрической энергии».

Аналогичное разъяснение опубликовано в журнале «Новости Электротехники» № 6 (90) за 2014 г., с. 52, в рубрике «Вопрос – Ответ».

Указанные выше разъяснения целесообразно принимать при проектировании электроустановок зданий и сооружений взамен данных текста в п. 3 ответа Р.И. Пашковского в части, касающейся п. 525 и табл. G.52.1 ГОСТ Р 50571.5.52–2011.

Дополнительная полезная информация, согласно п. 715.525 ГОСТ Р 50571.7.715–2014/МЭК 60364–7–715–2011 «Осветительные установки сверхнизкого напряжения» – «В осветительных установках СНН (системы низкого напряжения) падение напряжения между трансформатором и самым удалённым светильником не должно превышать 5% номинального напряжения установки СНН».

**Р.И. Пашковский, инженер,
корреспондент журнала
«Светотехника»
в Санкт-Петербурге**