Калькулятор индексов цветоперадачи CRI и CQS

Михаиил Сартаков.

главный технолог ОВА ПреПресс, msartakov@gmail.com

Спектральный калькулятор, который находится по адресу: http:// rudtp.pp.ru/spectralcalc.php, предназначен в первую очередь для проведения стандартизации на полиграфическом предприятии. Но кроме того он позволяет вычислить по пользовательским спектральным данным используемые в светотехнике и колориметрии индексы качества цветопередачи CRI, CQS и GAI.

КУДА НАЖИМАТЬ?

Спектральный калькулятор по адресу: http://rudtp.pp.ru/spectralcalc. php (см. рис. 1) имеет большой функционал и множество настроечных параметров, но для расчета индексов цветопередачи достаточно нажать на одну единственную кнопку. Для этого необходимо развернуть спойлер «Дополнительные функции и расширенные установки» и кликнуть по кнопке СRI и CQS (см. рис. 2). Остальные настройки трогать не нужно!

Если пользователь не заполнил поле Input своими спектральными данными – калькулятор заполнит их собственными тестовыми образцами и проведет расчет.

КАК ЗАГРУЗИТЬ В КАЛЬКУЛЯТОР СОБСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ?

На входе калькулятор принимает спектральные данные в формате CGATS, принятом во многих программах работы с цветом. Если спектральные данные представлены в каком-то ином формате, необходимо самостоятельно привести их к колориметрическом формату CGATS по образцу (см. рис. 3), что несложно сделать за несколько минут в любом текстовом

редакторе с функцией автозамены.

Первая строчка в минимально необходимом оформлении данных – **ILLUMINATION_NAME Emission** – для самосветящихся образцов.

Вторая строчка – **BEGIN_DATA_ FORMAT**

Третья строчка начинается с SampleID SAMPLE_NAME и продолжается списком длин волн, для которых известна спектральная интенсивность, например, nm380

nm390 nm400 nm410 nm420...

с разделителем пробелом или табуляцией. Шаг представленных данных должен быть кратным 1нм. Если исходные данные иные, необходима интерполяция и приведение к сетке с шагом кратным 1нм. Для интерполяции данных можно воспользоваться калькулятором по адресу: http://rudtp.pp.ru/cubicspline.

Четвертая строчка – **END_DATA_ FORMAT**.

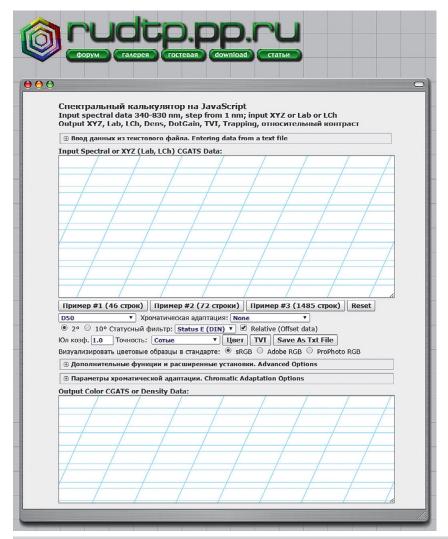


Рис. 1. Общий вид спектрального калькулятора. В верхнее поле необходимо ввести спектральные данные в формате CGATS

Пятая строчка – это тег открытия данных **BEGIN_DATA**.

Шестая строчка должна начинаться с номера измеряемого образца, который задает пользователь. В приведенном примере это «1». После номера следует условное название измеряемого образца (в приведенном примере Uniel_LED_6W). И затем спектрометрические данные, соответствующие значениям длин волн из второй строчки, в приведенном примере — 0,508813 0,448104 1,1694 ...

За один раз можно рассчитывать индексы цветопередачи сразу для нескольких спектров. Для этого достаточно между тегами BEGIN DATA и END_DATA вписать необходимое число строчек со спектральными данными, каждую со своим номером и условным названием. В приведенном примере таких строчек три – для источника №1 под названием Uniel_ LED 6WT, для источника №2 под названием Philips_Graphica_Pro_950 и для источника №3 – Uniel KLL. 3aвершающая строчка END DATA показывает калькулятору, где нужно остановиться.

Отделение дробной части чисел производится как запятой, так и точкой. Разделять данные можно как табуляторами, так и пробелами.

После запуска расчета индексов цветопередачи кнопкой CRI и COS на экран выводится таблица визуального сравнения цветовых образцов под референсным и тестовым иллюминантами вместе со всеми посчитанными индексами (см. рис. 4). Чем лучше цветопередача, тем менее заметна разница между цветом плашек в верхней и нижней строчках каждого набора. Индексы для цветовых образцов высвечиваются при наведении курсора на плашки. Также в поле Output выводится подробная информация обо всех рассчитанных индексах, и кнопкой Save As Txt File можно сохранить ее в виде текстового документа (см. рис. 5).

В посчитанном примере представлены три типа источников:

- бытовая светодиодная лампа мощностью 6 Вт с типичными для такой продукции не очень высокими индексами цветопередачи (спектр приведен на рисунке ба).
- люминесцентная лампа с высоки-

```
Пример #1 (46 строк) Пример #2 (72 строки) Пример #3 (1485 строк) Reset
D50
                  ▼ Хроматическая адаптация: None
                                                                •

    2° ○ 10° Статусный фильтр: Status E (DIN) ▼ 
    Relative (Offset data)

Юл коэф. 1.0 Точность: Сотые
                                         ▼ Цвет TVI Save As Txt File
Визуализировать цветовые образцы в стандарте: 

• sRGB 

• Adobe RGB 

• ProPhoto RGB
 🖯 Дополнительные функции и расширенные установки. Advanced Options
 Принудительно изменить размерность спектров: \bigcirc \times 0.01 \bigcirc \times 0.1 \odot \times 1 \bigcirc \times 10 \bigcirc \times 100
 Принудительно изменить тип спектров (отражение/самосветящиеся): 

Reflection 

Emission

    Иллюминанты из массивов на выбор разработчика:
    выборка
    диапазон (F...)

 Показать спектр осветителя (вычисляется в формате исходных данных поля input)
 □ Скопировать в буфер результаты двух последующих далее вычислений
 и после этого произвести колориметрическое сравнение результатов
 🗹 Добавить значения LCh и Density к таблице Color Output
 нм с шагом 10 нм в таблицы с шагом 5 нм: Показать интерполированные данные

    Разделитель целой и дробной части запятая

 Референсные значения красок на графике: ISO 12647-2/AMD.1:2007 Paper 1-2 WB ▼
 Кривые TVI и допуски (tolerance) ±4 на графике: ISO 12647-2:2004 Curv A (14) ▼
 Выводить по умолчанию для спектров градационные: график DotGain . 💿 🔘 график TVI
 Для голубой краски использовать z factor (оптимально для офсета) 🌘 🔘 не использовать
 Диапазон значений вертикальной оси Y на графиках DotGain и TVI: min 0 ____ max 30
 Сохранить TVI для вычисления компенсации под ISO 12647-2:2004 и ГОСТ Р 54766-
 2011 или под ISO 12647-2:2013
 Трансформировать спектры ti3 в спектры txt (конверсия спектров формата ArgyllCMS в
 понятный всем программам стандартный формат спектральных данных ANSI CGATS.17-2009).

	У Конвертировать мишень hex2015 в IT8.7/4 с усреднением дублирующихся патчей

  Вычислить объём цветового охвата по 8 вершинам, включая белый и черный
 Конверсия между спектральными фильтрами:
 M0 to M1  M1 to M0  M2 to M1  M1 to M2  M0 to M2  M2 to M0
 Колориметрическая трансформация цветовых координат относительно новой белой точки
 (бумаги) или, по ISO 12647-2:2013, tristimulus correction method: McDowell 2005
 На графике RGB-данных отобразить границу: Human Visual Space 💿 🔘 AdobeRGB
                                                LCh min:
                                                               L 30
                                                                      C 5
                                                                               h 20
 Выделить в данных цветовую область:
                                                I Ch max:
                                                                      C 55
                                                              L 70
                                                                              h 80
 Отсортировать данные:
                        по светлоте Light. по насыщенности Chroma по тону hue
 и при сортировке по hue отделить нейтральную область значений Chroma от 0 до:
                                                                                5
  Вычислить Color Inconstancy Index (CII) с reference White D50 и адаптацией САТО2
  Вычислить цветовую константность по Pinney-DeMarsh для нейтрального серого
  CRI и CQS Color Rendering Index и Color Quality Scale ® строго по версии NIST 7.4 от СІЕ
  для исследователей с небольшими исправлениями NIST 7.4 от rudtp.pp.ru*
```

Рис. 2. Для расчета индексов цветопередачи необходимо раскрыть спойлер «Дополнительные функции и расширенные установки» и кликнуть по кнопке «CRI и CQS».

```
ILLUMINATION_NAME Emission
BEGIN DATA FORMAT
SampleID SAMPLE_NAME nm380 nm390 nm400 nm410 nm420 nm430 nm440
nm450 nm460 nm470 nm480 nm490 nm500 nm510 nm520 nm530 nm540
nm550 nm560 nm570 nm580 nm590 nm600 nm610 nm620 nm630 nm640
nm650 nm660 nm670 nm680 nm690 nm700 nm710 nm720 nm730
END_DATA_FORMAT
BEGIN_DATA
1 Uniel_LED_6W 0.508813 0.448104 1.1694 2.4273 6.1676 16.7201
32.9586 51.9104 51.3547 30.1947 19.3921 19.0501 26.9628 43.1385
61.1722 77.6918 97.8688 112.709 118.328 125.604 128.649 125.607
118.25 120.68 119.844 138.562 168.267 127.044 61.6216 37.4011
27.321 \ 20.7478 \ 15.8362 \ 13.4319 \ 10.4366 \ 9.26779 \ 2138.744007 \ 7325
3.424907318 2245 3.262806236
2 Philips_Graphica_Pro_950 2.6488 4.1800 16.5578 17.4355
10.3664\ 36.9232\ 51.8157\ 24.4095\ 29.7529\ 37.3642\ 44.2197\ 48.8637
45.2514 40.0029 35.1423 32.6619 55.1697 67.1457 36.6983 37.9019
48.0870 47.9171 49.9350 55.6698 58.2908 55.0200 47.8480 41.0068
33.7516 26.8252 20.9929 16.0975 12.3023 9.7701 7.3416 5.6480
3 Uniel_KLL 2.84074 2.29383 27.9626 31.2684 10.2426 54.3048
82.2126 22.1001 17.0513 14.4142 28.5029 62.8586 35.4708 14.1846
10.7489 23.5259 236.996 287.966 44.3493 23.0712 83.299 103.162
83.4642 315.138 203.023 94.497 32.9375 28.5112 23.9034 15.4248
13.5183 16.1431 17.0533 40.0985 17.1605 4.95594 2124.65511
END_DATA
```

Рис. 3. Пример спектральных данных, записанных в формате CGATS

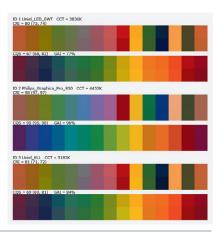


Рис. 4. Таблица визуального сравнения цветовых образцов под референсным и тестовым иллюминантами

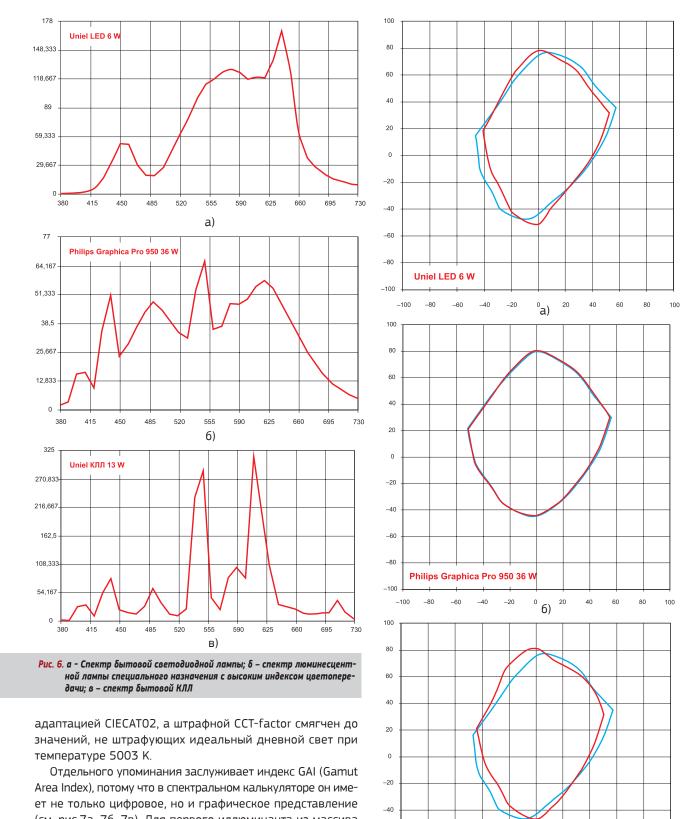
ми индексами цветопередачи, используемая в полиграфии (спектр приведен на рисунке 66)

 - бытовая лампа КЛЛ мощностью 13 Вт с типичными для такой продукции не очень высокими индексами цветопередачи (спектр приведен на рисунке 6в).

Индексы CRI и CQS справедливо вызывают много нареканий от колористов, так CRI, помимо всего прочего, использует не самый новый метод хроматической адаптации по фон Кризу, а индексы CQS в версии 7.4 от NIST штрафуют за «низкую» цветовую температуру даже идеальный дневной свет D50 (ССТfactor приравнивается к единице для D65, все остальное естественно меньше единицы), что совершенно не допустимо! В современной колориметрии D50 имеет больше прав, чем D65, именно в D50 общаются через Profile Connection Space в компьютерах цветовые профили ІСС. Практически все отрасли, работающие с цветом, чтобы не подвергать вычисления дополнительной хроматической адаптации, перешли от освещения D65 к D50. Поэтому в спектральном калькуляторе, предназначенном в первую очередь не для светотехников, а для колористов, исследователей в колориметрии и технологов в полиграфии, можно посчитать все индексы с некоторыми исправлениями. Для этого рядом с кнопкой CRI и CQS есть два радиоселектора на выбор. При выборе исследовательского селектора все индексы вычисляются с самой современной хроматической

```
Color Rendering Index (CRI) и Color Quality Scale (CQS)
ID образца иллюминанта: 1 Uniel_LED_6W. ССТ = 3036K
Color Rendering Index - CRI:
Ra = 80.2
Ra(14) = 73.3
Ra(15) = 73.6
Индивидуальный CRI для 15 образцов от R1 до R15:
78 84 85 78 75 74 91 75 39 59 71 47 78 91 77
Color Quality Scale - CQS:
Qa = 67.3
Of = 67.7
Qp = 81.6
Od (GAI) = 76.8
Индивидуальный CQS для 15 образцов от Q1 до Q15:
71 81 63 59 63 63 65 72 78 71 68 69 70 66 68
ID образца иллюминанта: 2 Philips_Graphica_Pro_950. CCT = 4455K
Color Rendering Index - CRI:
Ra = 97.7
Ra(14) = 97.1
Ra(15) = 97.2
Индивидуальный CRI для 15 образцов от R1 до R15:
98 97 96 99 99 98 98 97 90 100 98 96 97 97 98
Color Quality Scale - CQS:
Qa = 94.6
Qf = 94.6
Op = 98.1
Qd (GAI) = 96.0
Индивидуальный CQS для 15 образцов от Q1 до Q15:
93 94 96 96 96 95 95 95 96 96 96 94 95 94 93
ID образца иллюминанта: 3 Uniel_KLL. CCT = 3185K
Color Rendering Index - CRI:
Ra = 81.0
Ra(14) = 70.6
Ra(15) = 72.0
Индивидуальный CRI для 15 образцов от R1 до R15:
96 91 54 88 84 76 89 72 12 46 74 44 96 69 92
Color Quality Scale - CQS:
Qa = 69.2
Qf = 68.9
Qp = 80.7
Qd (GAI) = 83.8
Индивидуальный COS для 15 образцов от O1 до O15:
63 \ 85 \ 66 \ 62 \ 67 \ 67 \ 71 \ 82 \ 71 \ 69 \ 72 \ 76 \ 75 \ 66 \ 65
Посчитано с хроматической адаптацией по матрице фон Криза для
CRI и матрице CMCCAT2000 для CQS.
Color Rendering Index.
"Ra" - собственно традиционный CRI для первых 8 цветовых
образцов (усреднение).
"Ra(14)" - позднее расширенный CRI шестью цветовыми образцами
с высокой насыщенностью.
"Ra(15)" - дополнен образцом Japanese Skin.
"R1 - R15" - CRI индивидуальных образцов.
"ССТ" - коррелированная цветовая температура иллюминанта
в Кельвинах.
Color Quality Scale.
"Оа" - классический коэффициент СОЅ для всех 15 цветовых
образцов (образцы отличаются от образцов для вычисления CRI).
"Qf" - индекс CQS без фактора насыщенности цвета по Chroma.
"Qp" - индекс CQS с позитивным фактором насыщенности (растет
если средняя Chroma образцов увеличивается под исследуемым
иллюминантом относительно идеального осветителя, но не падает,
если Chroma некоторых образцов ниже Chroma под идеальным
"Q1 - Q15" - CQS индивидуальных образцов (однако "Qa" - не
является просто их средним значением и вычисляется
самостоятельно).
"Qd" - так же известен как GAI - Gamut Area Infex, процентное
отношение площади цветового охвата под тестовым иллюминантом
относительно площади цветового охвата под референсным иллюми-
нантом. Скорее количественный, чем качественный показатель, так
как плохой свет может давать как малый так и большой GAI (Qd).
```

Рис. 5. Пример данных, рассчитанных калькулятором



(см. рис.7а, 76, 7в). Для первого иллюминанта из массива выводятся площади цветового тела в проекции аb координат СIE Lab под референсным и тестовым иллюминантом. Очерченная область определяется 15 цветовыми образцами CQS. На графиках хорошо видно, как растет или падает цветовой охват в тех или иных цветовых тонах под тестовым источником (красная линия) и референсным с той же цветовой температурой (синяя линия). На рисунке 7а представлен

иллюминант с индексом GAI = 77% и на рисунке 76 – иллю-

минат с индексом 96%, на рисунке 7в – с индексом 84%.

Рис. 7. а. Графическое изображение индекса GAI для бытовой светодиодной лампы; б − графическое изображение индекса GAI для люминесцентной лампы специадыного назначения с высоким индексом цветопередачи; в − графическое изображение индекса GAI для бытовой КЛЛ

Uniel КЛЛ 13 W

В идеале индекс GAI должен приближаться к 100% совпадения охватов, как это происходит с дневным светом или с лампами накаливания, а отклонения как в меньшую, так и в большую сторону от 100% (некоторые источники дают больший охват, например, если использовать в качестве источника света белый экран монитора с расширенным цветовым охватом за счет высококачественных RGB-фильтров, почти повторяющих графически функцию обозревателя СIE) говорят об ухудшении качества цветопередачи.

Насыщенность цветов не должна быть высокой или низкой, она должна быть правильной. Тем не менее, монитор не является осветительным прибором, так что индекс GAI для него ничего не означает и приведен лишь в качестве редкого образца того, что в некоторых случаях спектральный состав света может быть таков, что цветовой охват образцов под тестовым иллюминантом оказывается не меньше, а больше образцов под референсным источником света с той же температурой.

ПРИМЕРЫ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ВЫСОКОЙ ЦВЕТОПЕРЕДАЧЕЙ

Хорошей цветопередачей Ra = 100 при низкой цветовой температуре 2700...3200 К обладают обычные лампы накаливания и галогенные лампы. Низковольтные галогенные лампы BLV WhiteStar, благодаря интегрированным светофильтрам, имеют цветовые температуры 4200 К, 4700 К и 5300 К при той же Ra =100.

Хороший выбор – люминесцентные лампы Т8 с Ra = 98, разработанные для применения в полиграфии: Philips Graphica Pro 950 и JUST NormLight 950 с цветовой температурой 5000 К и Osram color proof с цветовой температурой 5300 К.

Более доступная альтернатива – лампы семейства Lumilux De Luxe 950 с Ra >90, а также появляющиеся в последнее время светодиодные лампы с Ra = 90. Заявляется, что у ламп Ikea Ledare с цветовой температурой 2700 К Ra >87, но реально они имеют более хорошее значение Ra = 93.

Опыт использования шкал CRI и CQS при разработке источника света с высокой цветопередачей

Антон Шаракшанэ, iva2000@gmail.com

В 2012 г. автор в должности главного конструктора 000 «ЛидерЛайт» разработал и представил на Interlight-2012 и Led-форум-2012 лампу с цоколем E27, выполненную по технологии отдаленного люминофора с индексами цветопередачи R_a = 95, Q_a = 94 с цветовой температурой 3200 К при эффективности 72 лм/Вт (см. рис 1). Экстремально высокая цветопередача (см. рис. 2) в сочетании с хорошей на тот момент эффективностью делала лампочку лучшим в России полупроводниковым источником света. По организационно-экономическим причинам запуск лампы в серию был отложен, а вскоре появились белые светодиоды, пригодные для производства ламп с R_a >90 по более простой и дешевой технологии. Но для иллюстрации разницы

100 95 90 85 80 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 100 95 90 85 80 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

Рис. 2. Частные индексы цветопередачи лампы в метриках CRI и CQS

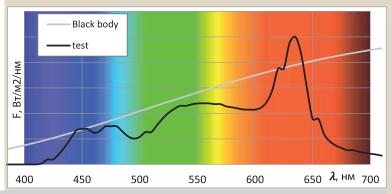


Рис. 3. Сплошной спектр белого света лампы собран из пяти цветных составляющих

метрик CRI и CQS опыт разработки той лампы полезен и сегодня.

За основу была взята базовая технология ламп с удаленным люминофором. Технология заключалась в том, что в поликарбонат светорассеивающей колбы добавлялся

желтый люминофор, а под колбу устанавливались синие светодиоды. При правильно подобранной концентрации люминофора желтая колба включенной лампы выглядела белой и светила белым светом. В модернизированной лампе концентрация люминофора резко увеличена, а вместе с синими светодиодами под колбу поставлены оранжевые, красные и голубые. В результате правильного подбора пропорций цветовых составляющих получен белый свет со сплошным спектром (см. рис. 3) и высокой цветопередачей.

Индекс цветопередачи R_a не штрафует цветные оттенки, неизбежные для белого света, собранного из независимых цветных составляющих. Поэтому при сдвиге цветового баланса за любой разумный срок эксплуатации индекс R_a не снизится ниже 90. Если бы в выходных характеристиках необходимо было использовать метрику CQS, пришлось бы уделять значительно больше внимания стабильности цветового баланса. Но при разработке лампы оказалось удобней использовать метрику CQS, а не CRI, т.к. максимизация индекса Q_a автоматически означала и максимизацию R_a и правильный цветовой баланс.