

ЭСТЕТИКА ОСВЕЩЕНИЯ



ЛЕКЦИЯ №7

Методика оценки цветопередачи
МКО- 1964, а затем 1974г.г., в
пространстве международных языков
получила название **CRI**
(Color Rendering Index).

Достоинства метода оценки качества цветопередачи МКО и его недостатки.

1. Данный метод расчета является общим и не преследует целей соответствовать каким-либо специальным целям.
2. Общий индекс цветопередачи связан линейно со **средним** числом порогов цветоразличения, т.е. с цветовым ощущением.
3. Метод дает возможность учесть изменения **адаптации** органа зрения при сравнении источников, имеющих некоторые различия в цветности.
4. Метод предусматривает непосредственную оценку цветопередающих **качеств источника света** по воздействию на орган зрения.

Достоинства метода оценки качества цветопередачи и его недостатки.

Особенность метода - определение R_a и R_i ведется расчетным путем, экспериментальной оценки не существует.

Проблемы и трудности:

- 1) Выбор контрольных цветов – одно из слабых мест этого метода;
- 2) Рассчитывается **среднее арифметическое** 8-ми специальных индексов R_i .
- 3) Правильнее было бы оценивать R_a по величине не среднеарифметического, а по величине **среднеквадратического отклонения**, либо даже по величине **кубического корня** из суммы кубов ΔE_i .
- 4) Отсутствие учета направления изменения цветности образцов, т.е. затруднительны определения и оценки предпочтительных направлений сдвигов цветопередачи.

Достоинства метода оценки качества цветопередачи и его недостатки.

Нерешенные задачи метода МКО (**CRI**- Color Quality Scale)

- 1) Не решается обратная задача: по требуемому качеству цветопередачи найти требуемый спектральный состав излучения для освещения данного набора цветных объектов.
- 2) Не решена задача точного определения восприятия цвета предметов в общем случае, когда наблюдатель рассматривает сложную картину, составленную из большого числа предметов и различных источников, освещающих их.
- 3) Плохо решается задача, когда необходимо учитывать такие зрительные явления, как
 - последовательный контраст;
 - одновременный контраст;
 - постоянство (константность) цветаи память на цвета.

На последней (?) сессии МКО было принято решение пересмотреть данный метод оценки цветопередачи из-за замеченных грубых несостыковок между привычными результатами расчета и неожиданными практическими результатами, в особенности, при освещении новейшими и считающимися очень перспективными ИС в виде светодиодов.

В 2010 г. появились настойчивые публикации сотрудников Национального института стандартов и технологий США (NIST) о предложении новой методики оценки цветопередачи, которую в итоге назвали методом **CQS (Color Quality Scale)**, т.е. **Методом шкалы качества цвета.**

В данный момент эта методика претендует на отраслевой стандарт, а для специального применения разработаны дополнительные шкалы **Color Fidelity Scale** и **Color Preference Scale**.

Главными разработчиками этого потенциального нового стандарта являются сотрудники ***Wendy Davis and Yoshi Ohno*** из **National Institute of Standards and Technology**.

Возможно, на сегодняшний день методика **CQS** является наиболее совершенной методикой из того, что предлагается.

Особенности методики CQS

Эта методика не вносит в расчет цветопередачи каких-либо принципиально новых идей:

1. Так же исследуемый источник света сравнивается с эталонным.
2. Так же определяются цветовые сдвиги при освещении цветной накраски сначала эталонным, а потом - исследуемым излучениями.
3. Так же учитывается цветовая адаптация.
4. Так же цветопередача определяется одним числом – индексом цветопередачи.

А что же нового?

1. Расчёты проводятся в другом цветовом пространстве - CIE LAB.
2. В качестве цветных отражающих образцов используются 15 образцов из атласа Манселла с более высокой насыщенностью.
3. Цветовое различие между двумя цветами считается не как среднее арифметическое, а как среднее геометрическое результатов расчетов цветовых сдвигов 15 образцов.

Пространство CIE LAB

Оно связано со стандартным цветовым пространством XYZ уравнениями:

$$L^* = 116 (Y/Y_6)^{1/3} - 16;$$

$$a^* = 500 [(X/X_6)^{1/3} - (Y/Y_6)^{1/3}];$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_6)^{1/3} - (Z/Z_6)^{1/3}];$$

В этих формулах X, Y, Z – координаты цвета исследуемого цветного образца, а

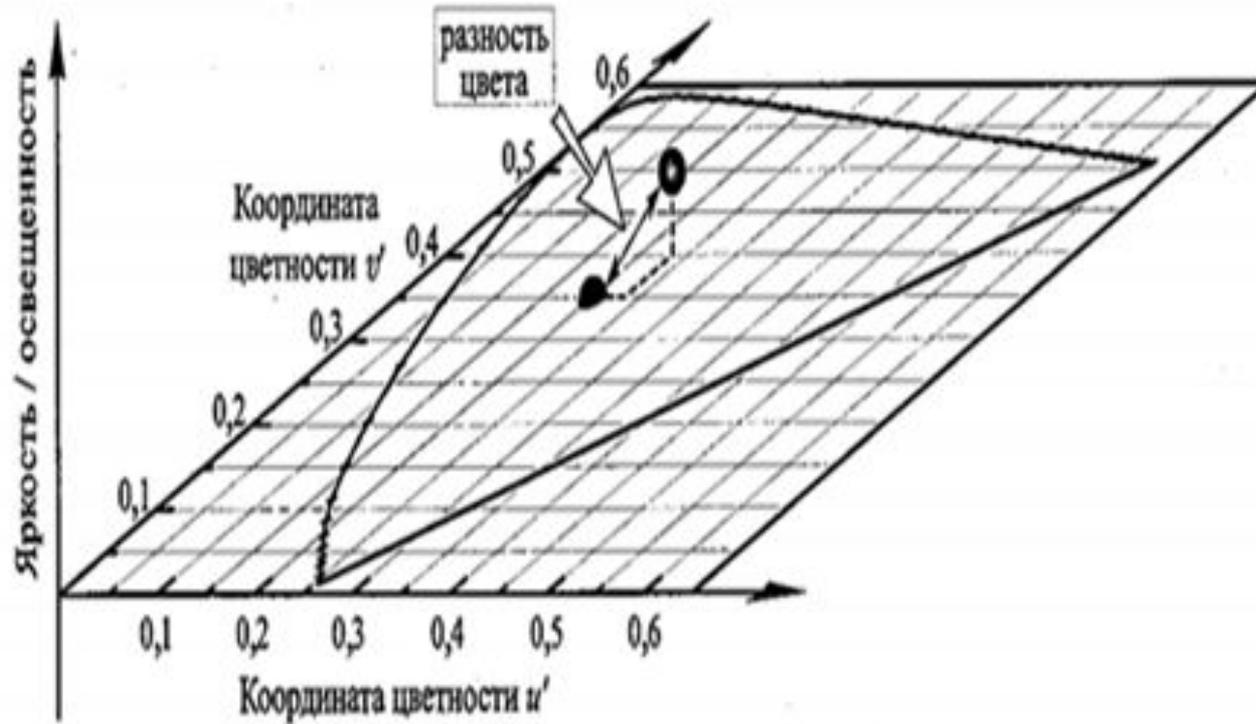
X_6, Y_6, Z_6 – координаты стандартного белого цвета, по отношению к которому исследуется цветопередача.

Пространство CIE LAB

Цветовое различие рассчитывается как расстояние между сравниваемыми цветами в равноконтрастном пространстве:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}.$$

Пространство CIE LAB



Пространство CIE LAB

Пространство Lab пронормировано по результатам исследований Манселла (атласу Манселла).

В модели Lab приняты обозначения:

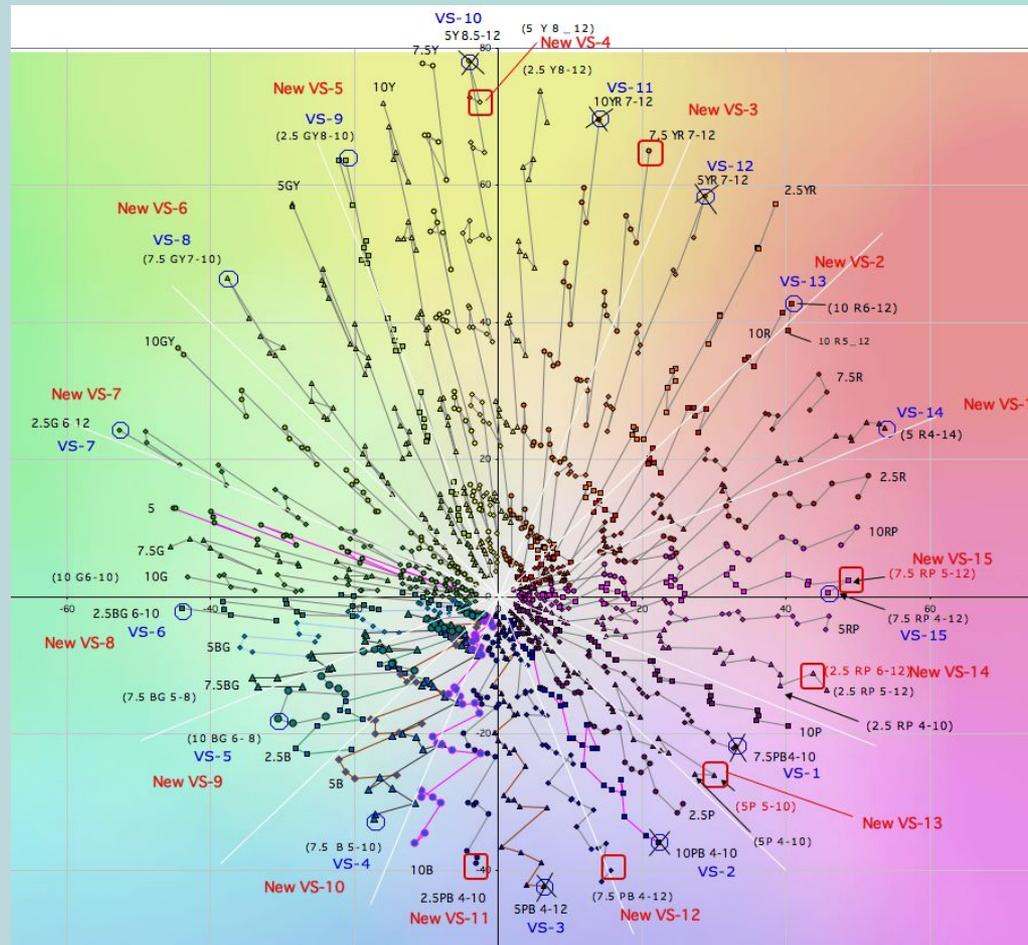
L (Lightness)— яркость цвета, измеряется от 0 до 100%;

a — диапазон цвета по цветовому кругу от зеленого (-120°) до красного ($+120^\circ$);

b — диапазон цвета от синего (-120°) до желтого ($+120^\circ$).

Координаты **a** и **b**, следовательно, могут принимать как положительные, так и отрицательные значения и располагаются на диаграмме **a,b** в 4-х квадрантах декартовой системы координат.

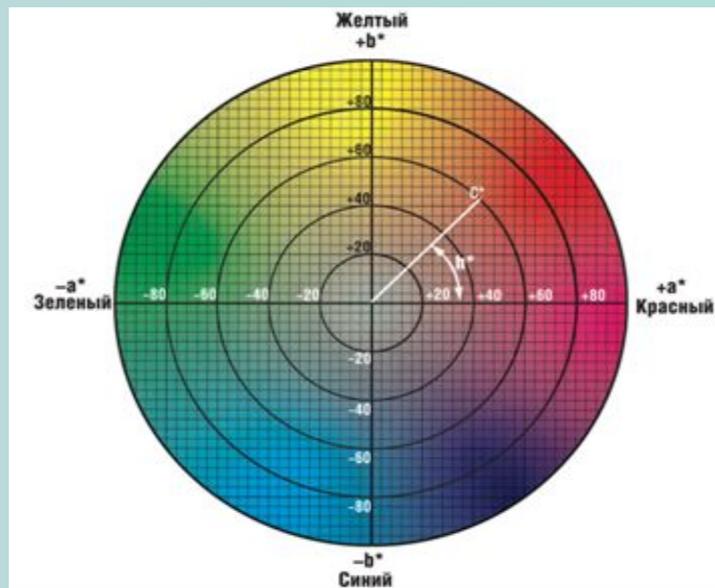
Пространство CIE LAB



Пространство Lab пронормировано по результатам исследований Манселла.

Пространство CIE LAB

Представление пространства **CIE LAB** в плоскости какой-то определенной яркости.



Цветовой круг CIELAB

Пространство CIE LAB

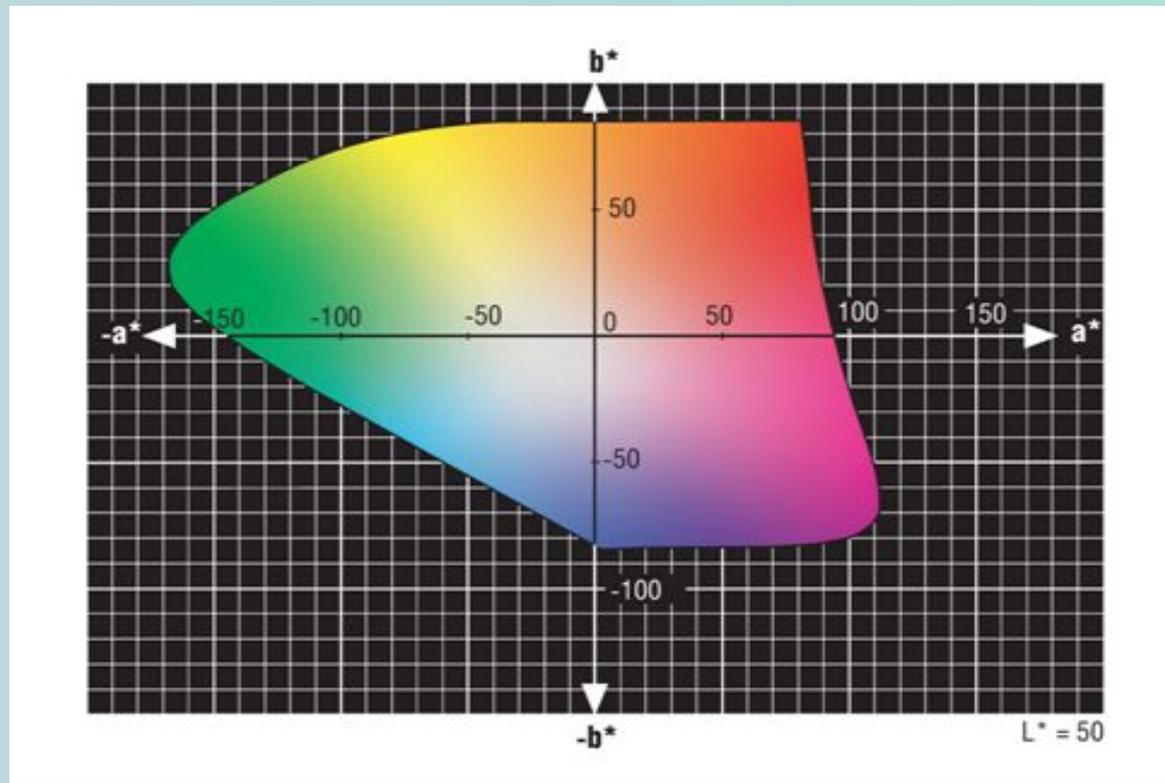
В результате преобразования цветового пространства CIE LAB оказалось невозможным представить рационально цветовой тон и насыщенность двумерной диаграммой цветности (по аналогии с цветовым треугольником CIE-31)

Пространство CIE LAB



Цветовое тело CIELAB

Цветовое пространство $L^*a^*b^*$ (поперечное сечение цветового тела)



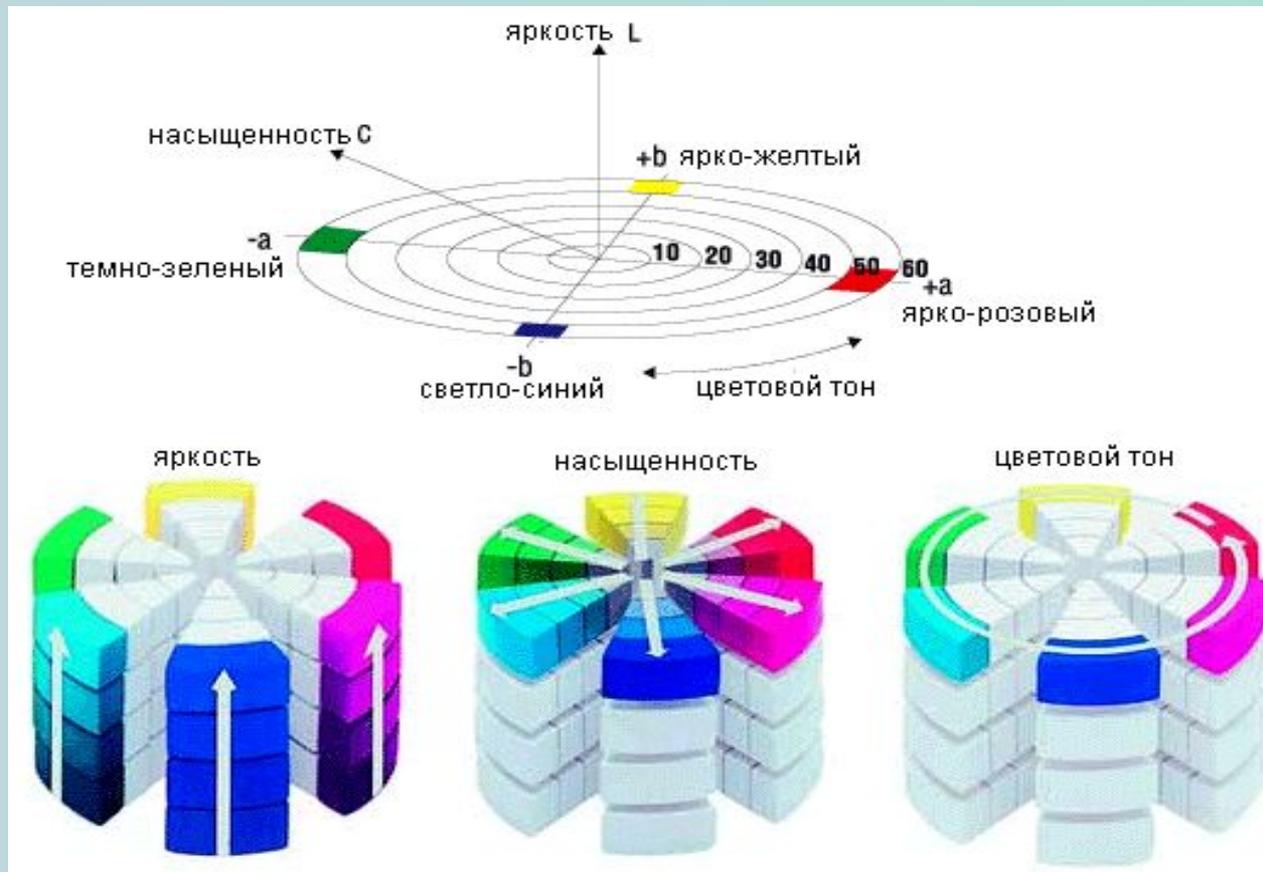
Пространство CIE LAB

В цветовом круге CIE LAB насыщенность (chroma), а не чистота цвета (saturation) как параметр изменяется от центра к краю круга.

Это приводит к тому, что в цветовом круге (в противоположность u' , v' -диаграмме или цветовому треугольнику) невозможно рационально изобразить locus (границы) спектральных цветов.

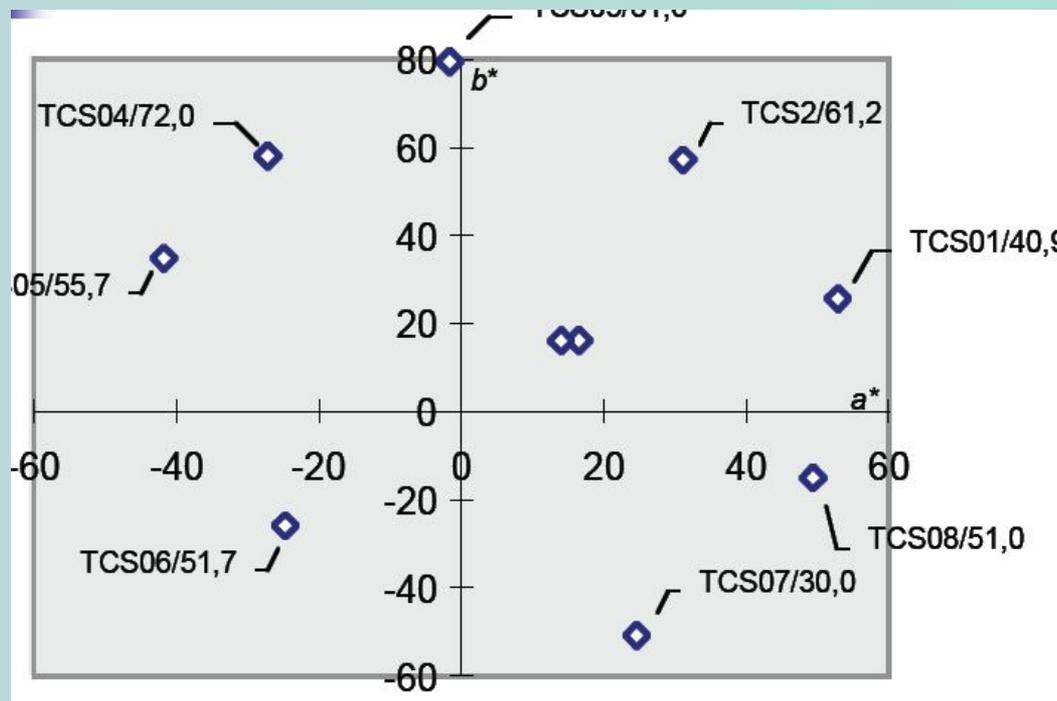
Пространство CIE LAB

Графическое представление модели Lab:



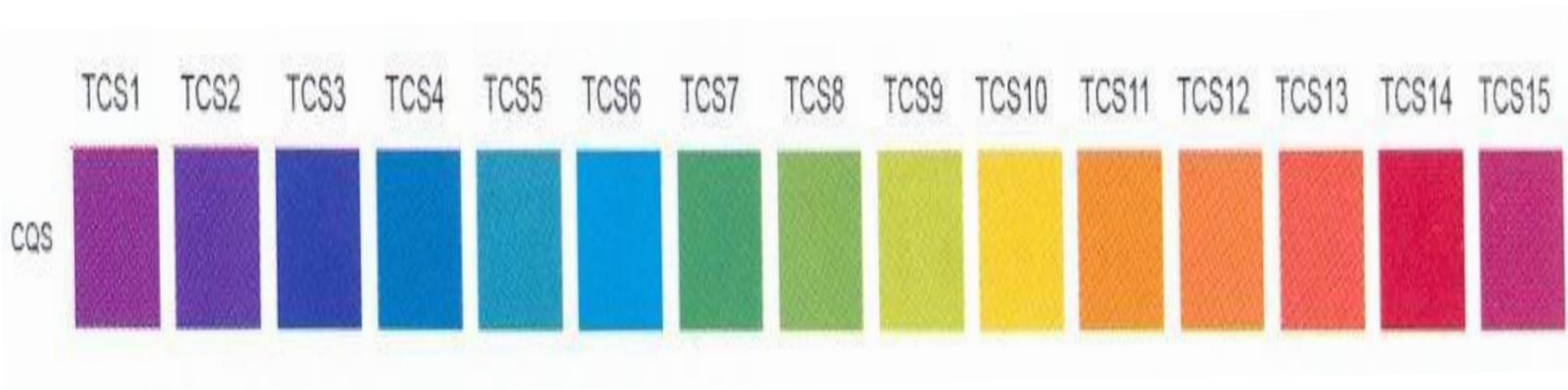
Пространство CIE LAB

Результаты вычисления цвета представляются на диаграмме **a,b** следующим образом:

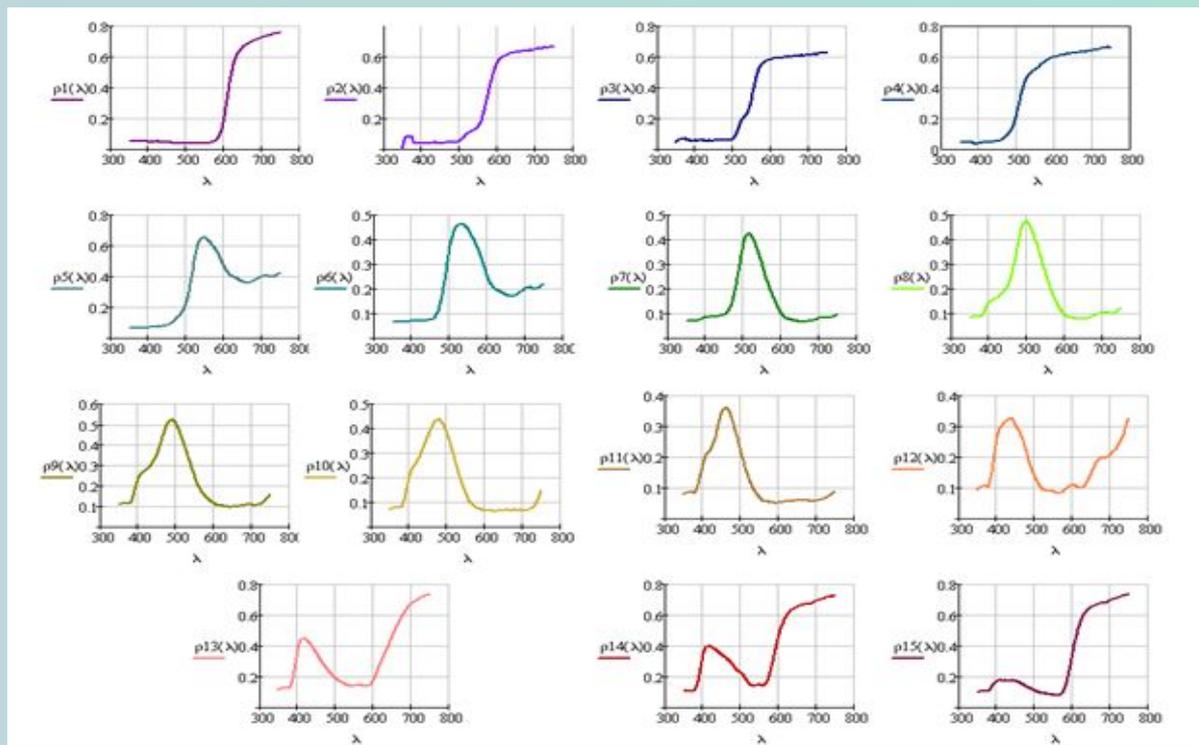


Цветовые образцы

Методика **CQS** предполагает использование 15-ти цветных образцов только насыщенных цветов, т.к. именно насыщенные цвета наиболее серьезно подвергаются цветовым искажениям. Это связано с особенностями спектрального состава их коэффициента яркости.



Отражательная способность пятнадцати эталонных цветных поверхностей метода CQS.



Цветовые образцы



Учет адаптации

Методика **CQS** использует одну из современных методик преобразования цвета для учета цветовой адаптации – CMSCAT2000

В методе CQS используются модифицированная система Брэдфорда для учета адаптации (CMSCAT200), которая по сути является унифицированной моделью фон Криса.

Трансформация происходит в 4 этапа:

Учет адаптации

В 1902 году Фон Крис предложил, что все три рецептора по-разному реагируют на цветовую адаптацию. Цветовая адаптация может быть рассмотрена как уменьшение чувствительности постоянных характеристик для каждого рецептора. Влияние каждой характеристики зависит от предъявляемого стимула наблюдателю.

$$R_c = \alpha \cdot R$$

$$G_c = \beta \cdot G$$

$$B_c = \gamma \cdot B$$

где R_c , G_c , B_c и R , G , B – реакции наблюдателя для эталонного и тестового источников соответственно. α , β , γ – коэффициенты Фон Криса, отвечающие за уменьшение чувствительности зрительных рецепторов.

Учет адаптации

В этих формулах
 R_{wr} , G_{wr} , B_{wr} и
 R_w , G_w , B_w –
реакции наблюдателя
для белой точки
эталонного и
тестового
источников
соответственно.

$$\alpha = \left(\frac{R_{wr}}{R_w} \right); \quad \beta = \left(\frac{G_{wr}}{G_w} \right); \quad \gamma = \left(\frac{B_{wr}}{B_w} \right)$$

$$\frac{R}{R_w} = \frac{R_c}{R_{wr}}; \quad \frac{G}{G_w} = \frac{G_c}{G_{wr}}; \quad \frac{B}{B_w} = \frac{B_c}{B_{wr}}$$

Учет адаптации

1. Преобразование системы XYZ в новую систему RGB. А именно – преобразование координат цвета исследуемого и эталонного ИСТОЧНИКОВ.

$$\begin{pmatrix} R_{i,и} \\ G_{i,и} \\ B_{i,и} \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_{i,и} \\ Y_{i,и} \\ Z_{i,и} \end{pmatrix} ; \quad \begin{pmatrix} R_{w,эт} \\ G_{w,эт} \\ B_{w,эт} \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_{w,эт} \\ Y_{w,эт} \\ Z_{w,эт} \end{pmatrix} ; \quad \begin{pmatrix} R_{w,и} \\ G_{w,и} \\ B_{w,и} \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X_{w,и} \\ Y_{w,и} \\ Z_{w,и} \end{pmatrix} ;$$

где:

$$M = \begin{pmatrix} 0.7982 & 0.3389 & -0.1371 \\ -0.5918 & 1.5512 & 0.0406 \\ 0.0008 & 0.0239 & 0.9753 \end{pmatrix}$$

Коэффициенты с индексом 'i' – отраженные составляющие.

Учет адаптации

2) Вычисляется степень адаптации по некоторому числу D , расчет которого по формуле учитывает еще и яркость адаптации фона как для исследуемого, так и эталонного источников.

$$D := F \cdot \left[1 - \frac{1}{3.6} \cdot e^{-\left(\frac{La-42}{92} \right)} \right]$$

где $F = 1; 0,9; 0,8$ для среднего, тусклого и темного окружения.

La – яркость адаптации фона (для исследуемого и эталонного источников). Если D больше 1 или меньше 0, то это число приравнивается к 1 или 0 соответственно.

Учет адаптации

Коэффициент D или степень адаптации – функция, зависящая от яркости адаптации и поля окружения. Степень адаптации изменяется от нуля (отсутствие адаптации) до единицы (полная адаптация)

Абсолютная яркость адаптирующего поля вычисляется:

$$L_A = \frac{E_w Y_b}{\pi Y_w} = \frac{L_w Y_b}{Y_w}$$

где Y_b – относительная яркость фона, L_w – абсолютная яркость белого, а Y_w – относительная яркость белой точки в поле адаптации

Учет адаптации

3) Вычисляются коэффициенты RGB с учетом степени адаптации (ref – эталонный источник, test – исследуемый):

$$R_c := R_{i, \text{test}} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{R_{w, \text{ref}}}{R_{w, \text{test}}} + 1 - D \right)$$

$$\alpha = D \cdot \left(\frac{Y_u}{Y_{эм}} \right)$$

То же самое - для коэффициентов V_c и G_c .

Учет адаптации

4) Далее снова осуществляется переход полученных коэффициентов в систему XYZ, которые вставляются на место соответствующих им коэффициентов в исходных формулах L,a,b для эталонного и исследуемого источников.

И продолжается расчет по уже известным формулам.

$$\begin{pmatrix} X_{i,ис} \\ Y_{i,ис} \\ Z_{i,ис} \end{pmatrix} = M^{-1} \begin{pmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{pmatrix} \quad (*) \quad \text{где:}$$

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} 1.076450 & -0.237662 & 0.161212 \\ 0.410964 & 0.554342 & 0.034694 \\ -0.010954 & -0.013389 & 1.024343 \end{pmatrix}$$

Учет адаптации

Далее коэффициенты из формулы (*) вставляются на место соответствующих им коэффициентов в формулах для эталонного и исследуемого источников.

$$L_{i, \text{исп}}^* = 116 \cdot \left(\frac{Y_{i, \text{исп}}}{Y_{\text{ист}}} \right)^{1/3} - 16$$

$$a_{i, \text{исп}}^* = 500 \cdot \left[\left(\frac{X_{i, \text{ист}}}{X_{\text{ист}}} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y_{i, \text{ист}}}{Y_{\text{ист}}} \right)^{1/3} \right]$$

$$b_{i, \text{исп}}^* = 200 \cdot \left[\left(\frac{Y_{i, \text{исп}}}{Y_{\text{исп}}} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z_{i, \text{ист}}}{Z_{\text{ист}}} \right)^{1/3} \right]$$

И далее продолжается расчет по уже описанному алгоритму.

Как считается цветовое различие в системе CQS.

Определение изменения цвета каждого контрольного образца осуществляется по формуле цветового различия, которое определяется как среднее геометрическое между различиями в трёх координатах цвета:

$$\Delta E_{i\overline{cmi}} = \sqrt{(L_{i\overline{ut}}^* - L_{cmi}^*)^2 + (a_{i\overline{ut}}^* - a_{cmi}^*)^2 + (b_{i\overline{ut}}^* - b_{cmi}^*)^2}$$

где ΔE_i - цветовой сдвиг для i -го образца.

Как считается цветовое различие в системе CQS.

Среднее квадратическое (root-mean-square) между всеми 15-ю цветовыми различиями:

$$\Delta E_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta E_i^2}$$

Индекс шкалы цветности определяется как:

$$Q_{\text{a,RMS}} = 100 - 3.1 \times \Delta E_{\text{RMS}}$$

Как считается цветовое различие в системе CQS

Чтобы исключить отрицательные значения и привести шкалу к диапазону 0-100 применяется следующее преобразование:

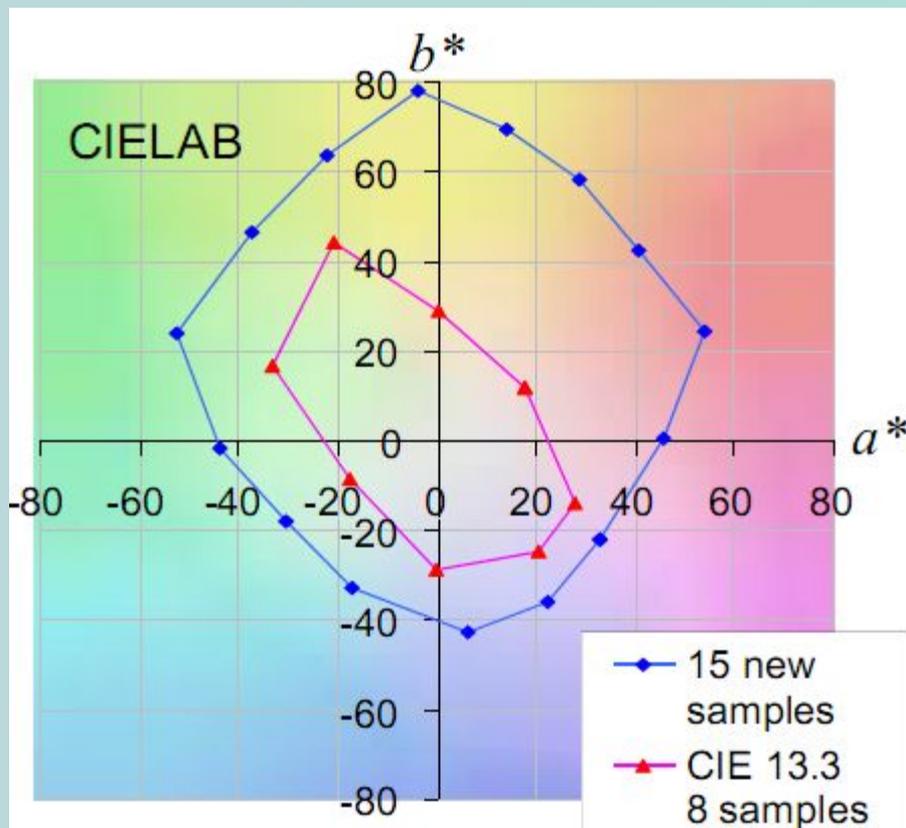
$$Q_{a,0-100} = 10 * \ln \left\{ \exp(Q_{a,RMS} / 10) + 1 \right\}$$

где

$Q_{a,RMS}$ – исходное значение (может быть отрицательным)

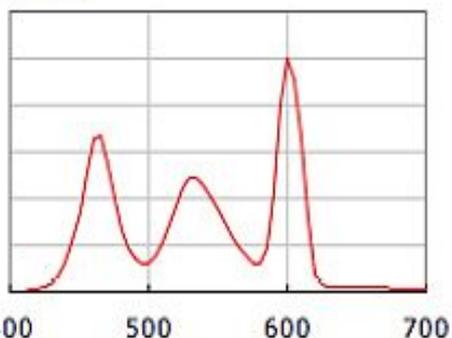
$Q_{a,0-100}$ – окончательное значение, результат преобразования.

Вот так выглядят эталонные образцы, используемые в методике CQS, если их представить на диаграмме a,b.

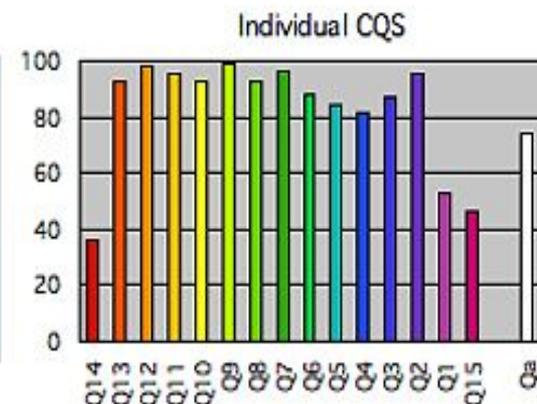
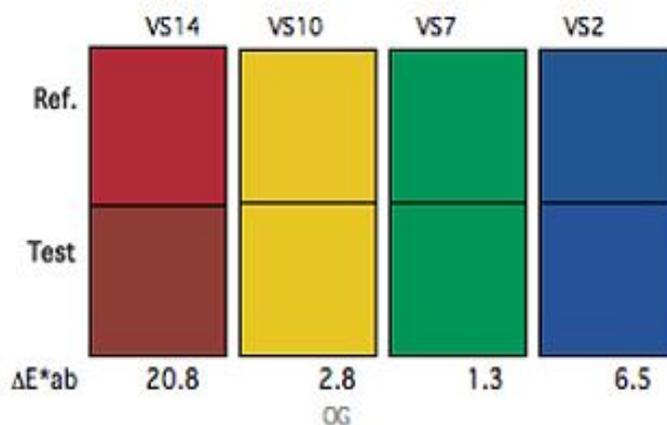
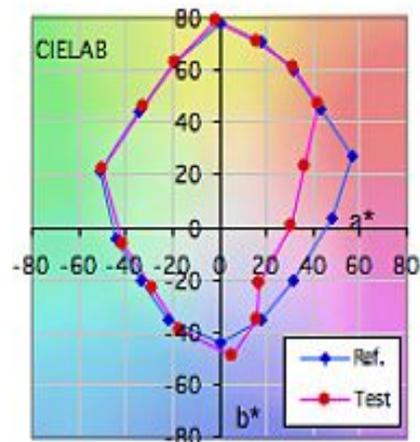
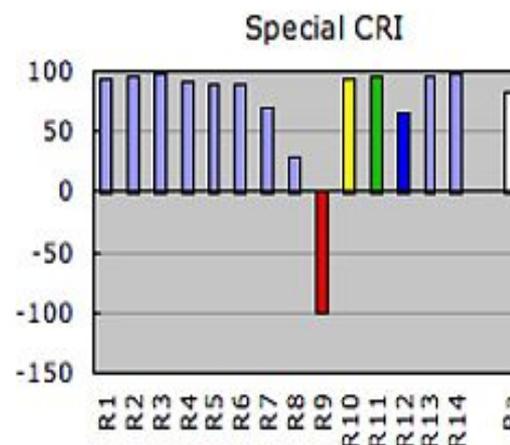


На плоскости значений координат ab однородного цветового пространства Lab удобно демонстрировать изменения насыщенности цветов, оценивая удаление координат цвета от точки $0,0$, и изменение цветового тона, оценивая поворот относительно точки $0,0$ по часовой или против часовой стрелки при сравнении цветных образцов, освещенных стандартным или исследуемым излучениями.

w600



86
 CCT: 5020 CQS 7.5
 Duv: 0.000
 CRI (Ra): 82
 CQS (Qa): 74
 LER (lm/W): 351



Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS

Характерная особенность шкалы – штрафует изменение тона, светлоты и снижение насыщенности цвета при освещении исследуемым источником света, но не штрафует увеличение насыщенности.

Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS

Методика расчета **CQS** предусматривает преобразование, практически не изменяющее частные индексы величиной больше 30, но увеличивающие более низкие значения таким образом, чтобы они не стали более отрицательными.

Вследствие этого частный индекс Q_i для таких случаев всегда находится в пределах 0-100.

Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS

Методика **CQS** штрафует снижение цветовой температуры ниже 3500К. Это производится домножением частных индексов цветопередачи на коэффициент, равный 1 при $T_{cv} > 3500K$, и прогрессивно уменьшающийся до 0 при снижении цветовой температуры примерно до 850К. В результате этой поправки общие индексы цветопередачи, оцененные по этой шкале, уже не будут иметь таких высоких значений, которые практически недостижимы, скажем, для светодиодов.

Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS

Окончательный индекс цветопередачи рассчитывается :

$$Q_a = M_{\text{CCT}} Q_{a, 0-100}$$

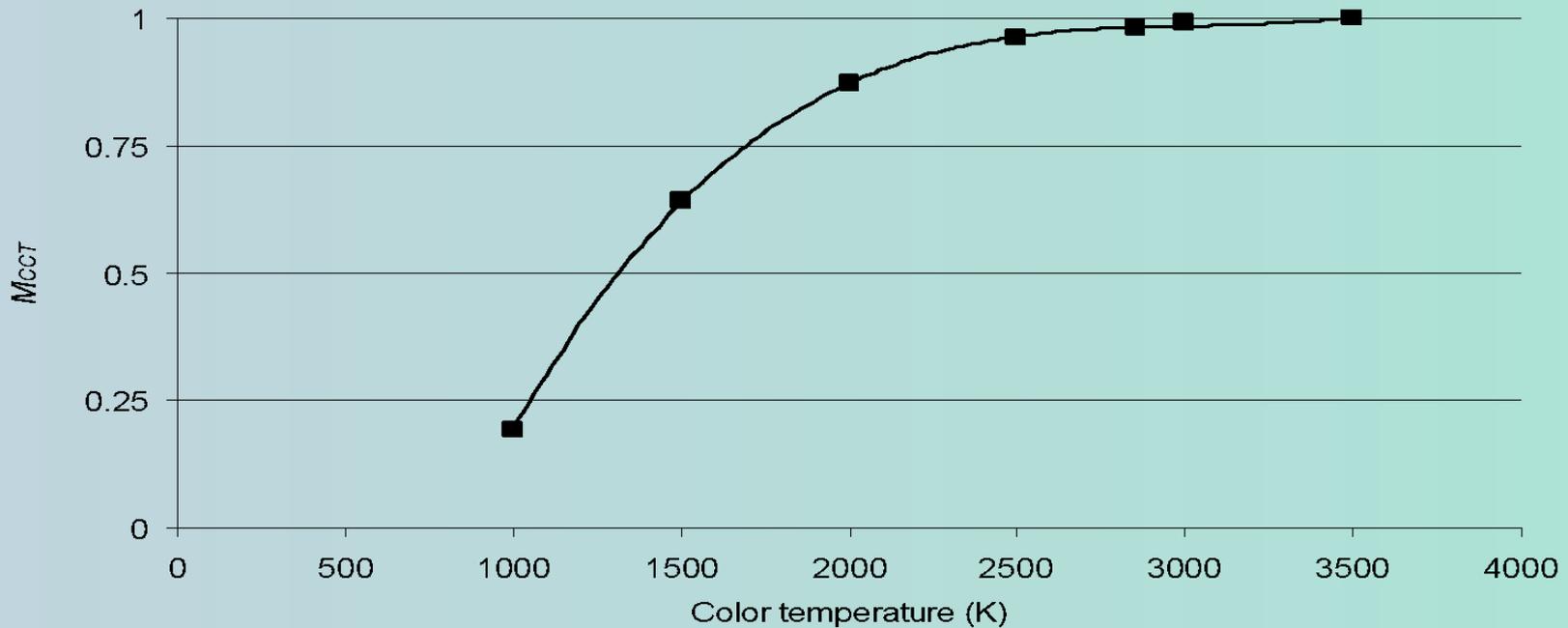
Где коэффициент M_{CCT} рассчитывается по следующей формуле :

$$M_{\text{CCT}} = T^3(9.2672 * 10^{-11}) - T^2(8.3959 * 10^{-7}) + T(0.00255) - 1.612$$

(для $T < 3500 \text{ K}$)

$$M_{\text{CCT}} = 1 \text{ (for } T \geq 3500 \text{ K)}$$

Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS



Зависимость коэффициента $M_{сст}$, штрафующего $T_{цв}$ ниже 3500K
от $T_{цв}$

Другие особенности оценки цветопередачи методом CQS

Методика **CQS** предлагает еще 2 модификации индекса **Q** - (Color Fidelity Scale) (**Q_f**) и (Color Preference Scale)(**Q_p**).

Оба эти индекса рассчитываются аналогично **Q_a**, но **Q_f** штрафует любое изменение цвета, в том числе насыщенности, и тем самым снижая значение индекса.

А **Q_p** штрафует изменение тона и уменьшение насыщенности, но поощряет увеличение насыщенности цветов.

ПУБЛИКАЦИИ по методу CQS

1. The CIECAM02 Color Appearance Model. N. Moroney, M. Fairchild, R. Hunt, C. Li, M. Luo, T. Newman.
2. Color Ratios and Chromatic Adaptation. G. Finlayson, S. Susstrunk.
3. Hunt RWG. Light and dark adaptation and the perception of color
4. Li CJ, Luo, MR, Rigg, B, Hunt RWG. CMC 2000 chromatic adaptation transform: CMCCAT2000.
5. W. Davis and Y. Ohno, Color quality scale.
6. RWG Hunt, CJ Li, M.R. Luo. Dynamic Cone Response Functions for Models of Color appearance.

Заключение:

Для методики расчета индекса цветопередачи методом **CQS** пока еще не существует никаких инструкций, отдельные частности расчета не всегда понятны, да и будет ли она принята МКО окончательно – неясно.

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

1) По измеренным значениям распределения спектральной плотности энергетической освещенности (или энергетического потока) испытуемого источника света $\Phi_e(\lambda)_и$ рассчитывают его координаты цвета $X_и, Y_и, Z_и$. Затем рассчитываются координаты цветности $x_и, y_и$. При этом интегрирование в соответствующих формулах заменяют суммированием с интервалом $\Delta\lambda = 1$ нм.

2) На основании полученных значений координат цветности определяют цветовую коррелированную температуру испытуемого источника $T_{цв,кор.}$ по цветовому графику с нанесенными на нем линиями $T = \text{const}$, либо рассчитывают по формуле (см. конспект лекций, либо Стандарт ГОСТ 23198-94).

3) По найденному значению $T_{цв,кор.}$ и выбирается эталонный (стандартный, опорный) источник света с допуском по цветовой температуре не более указанного в таблице Б.4 приложения Б Стандарта 23198-94. Для этого эталонного источника света рассчитываются значения распределения спектральной плотности энергетической освещенности (или энергетического потока) стандартного источника $\Phi_e(\lambda)_{ст}$.

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

4) По рассчитанным значениям распределения спектральной плотности энергетической освещенности (или энергетического потока) испытуемого источника света $\Phi_e(\lambda)_{ст}$ рассчитывают его координаты цвета $X_{ст}$, $Y_{ст}$, $Z_{ст}$. Затем рассчитываются координаты цветности $x_{ст}$, $y_{ст}$. При этом интегрирование в соответствующих формулах заменяют суммированием с интервалом $\Delta\lambda = 1$ нм. Координаты цветности $x_{ст}$, $y_{ст}$ должны быть предельно близки координатам цветности $x_{и}$, $y_{и}$.

5) Далее рассчитываются координаты цвета и цветности излучений, отраженных от контрольных образцов $X_{иi}$, $Y_{иi}$, $Z_{иi}$; $x_{иi}$, $y_{иi}$ при освещении их испытуемым источником света, а также координаты цвета и цветности излучений, отраженных от контрольных образцов $X_{сти}$, $Y_{сти}$, $Z_{сти}$; $x_{сти}$, $y_{сти}$ при освещении их эталонным источником света по известным формулам. Индекс «i» означает номер контрольного цветного образца. Все координаты цветности должны быть рассчитаны до четырех знаков после запятой.

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

б) Затем все колориметрические данные пересчитываются из стандартной колориметрической системы Публикации МКО 1931 г. в координаты равноконтрастного (квазиравноконтрастного) цветового пространство CIE LAB по формулам:

$$L^*_{и} = 116 (Y_{и}/Y_{ст})^{1/3} - 16;$$

$$a^*_{и} = 500[(X_{и}/X_{ст})^{1/3} - Y_{и}/Y_{ст}]^{1/3};$$

$$b^*_{и} = 200[(Y_{и}/Y_{ст})^{1/3} - (Z_{и}/Z_{ст})^{1/3}];$$

Для эталонного источника излучения указанные координаты превращаются в соответственно в :

$$L^*_{ст} = 116 - 16 = 100;$$

$$a^*_{ст} = 500[1 - 1] = 0;$$

$$b^*_{ст} = 200[1 - 1] = 0;$$

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

Для излучений, отраженных от цветных образцов при освещении их испытуемым источником, формулы имеют вид :

$$\begin{aligned}L^*_{иі} &= 116 (Y_{иі}/Y_{ст})^{1/3} - 16; \\a^*_{иі} &= 500[(X_{иі}/X_{ст})^{1/3} - Y_{иі}/Y_{ст}]^{1/3}; \\b^*_{иі} &= 200[(Y_{иі}/Y_{ст})^{1/3} - (Z_{иі}/Z_{ст})^{1/3}];\end{aligned}$$

Для излучений, отраженных от цветных образцов при освещении их эталонным источником, формулы имеют вид :

$$\begin{aligned}L^*_{сті} &= 116 (Y_{сті}/Y_{ст})^{1/3} - 16; \\a^*_{сті} &= 500[(X_{сті}/X_{ст})^{1/3} - Y_{сті}/Y_{ст}]^{1/3}; \\b^*_{сті} &= 200[(Y_{сті}/Y_{ст})^{1/3} - (Z_{сті}/Z_{ст})^{1/3}];\end{aligned}$$

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

7) Затем определяют цветовое различие, которое определяется как среднее геометрическое между различиями в трёх координатах цвета по формуле

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}, \text{ т.е.}$$

для некоторого i -ого цветного образца определяется разница ΔE_i ,

где $\Delta L^*_i = \Delta L^*_{\text{cti}} - \Delta L^*_{\text{ни}}; \quad \Delta a^*_i = \Delta a^*_{\text{cti}} - \Delta a^*_{\text{ни}}; \quad \Delta b^*_i = \Delta b^*_{\text{cti}} - \Delta b^*_{\text{ни}}.$

8) Затем определяется среднее геометрическое (root-mean-square) между всеми 15-ю цветовыми различиями:

$$\Delta E_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta E_i^2}$$

Алгоритм расчета индекса цветопередачи методом CQS

9) После этого определяется индекс шкалы цветности:

$$Q_{a,RMS} = 100 - 3,1 \Delta E_{RMS}$$

10) Для исключения отрицательных значений и приведения шкалы к диапазону 0-100 применяется следующее преобразование:

$$Q_{a,0-100} = 10 * \ln\{\exp(Q_{a,RMS}/10) + 1\}$$

11) Окончательный индекс цветопередачи испытуемого источника излучения рассчитывается :

$$Q_a = M_{CCT} * Q_{a,0-100}$$

При этом коэффициент M_{CCT} рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{CCT} = T^3(9,2672*10^{-11}) - T^2(8,3959*10^{-7}) + T(0,00255) - 1,612; \quad \text{для } T < 3500\text{K.}$$

$$M_{CCT} = 1 \quad \text{для } T=3500\text{K или } T>3500\text{K} .$$



Критерии точности воспроизведения цвета

- физическая точность воспроизведения цвета;
- физиологическая точность воспроизведения цвета;
- психологическая точность воспроизведения цвета;

физическая точность

$$\{ \Phi_{e\lambda}(\lambda) \}_{\text{оригинала}} = \{ \Phi_{e\lambda}(\lambda) \}_{\text{репродукции}}$$

Физиологическая точность

$$x_o - x_p \leq \Delta x;$$

$$y_o - y_p \leq \Delta y;$$

$$L_o - cL_p \leq \Delta L_{\text{пор}};$$

здесь x_o, y_o – координаты цветности сопоставляемого участка объекта;

x_p, y_p - координаты цветности того же участка объекта в его изображении или на репродукции;

L_o, L_p - яркости соответствующих участков объекта и репродукции;

c – постоянный коэффициент для всех участков репродукции.

Психологическая точность

Критерием психологической точности изображения объекта является его изображение или репродукция на таком уровне, когда изменение цвета какого-либо участка изображения начинает понижать оценку качества воспроизведения; правда, при условии, что не изменились цвета остальных частей репродукции.

Психологическая точность

А.Б. Матвеев приводит такие примеры:

- - экспериментально доказано, что , если цветность всех участков репродукции изменяется в одном направлении, то это дает возможность допустить большее отклонение цветности какого-либо участка этой репродукции.
- - изменения цветности, связанные с чистотой цвета, возможны в большей степени, чем изменения цветности по цветовому тону.
- - изменение цветности и яркости на центральных по композиции участках репродукции или изображения должно быть значительно меньше, чем на второстепенных участках.

Психологическая точность

Подобные соображения приводят к мысли о том, что психологическая оценка точности может оказаться наиболее правильной при оценке качества воспроизведения цветов, особенно, если учесть, что с помощью этого критерия судят о качестве многоцветного объекта в целом, а не по отдельным его участкам.

Следовательно, именно этот критерий наиболее применим к оценке качества воспроизведения сложных многоцветных объектов.







Основные выводы рассмотрения равноконтрастных систем

Никакое линейное преобразование колориметрического пространства не может привести к равноконтрастной системе, т.к. цветовое ощущение связано с цветовым стимулом нелинейной и многопараметрической зависимостью.

Попытки построения единого универсального графика, пригодного для любых уровней яркости и любых адаптационных уровней не удались; они противоречат экспериментальным данным.

При построении равноконтрастного пространства нельзя поверхности равной яркости считать плоскими (Этот вывод вытекает также и из экспериментов Мак Адама). Также нельзя считать подобными сечения равноконтрастного пространства поверхностями равной яркости.

Сравнение колориметрических систем измерения цвета и равноконтрастных систем

1. Относительно системы RGB – есть все основания считать ее основной: три основных ее цвета физически осуществимы, могут быть использованы в колориметре. Ее идеи просты и понятны.

2. Система XYZ: ее основные цвета неосуществимы, не могут быть применены в визуальном колориметре. Они существуют как некоторое математическое понятие, как линейная функция реальных цветов.

Сравнение колориметрических систем измерения цвета и равноконтрастных систем

Однако, несомненны удобства системы XYZ :

- координаты всех реальных цветов положительны.
- яркость связана только с одной координатой .

В итоге сейчас система RGB почти вытеснена системой XYZ, но нельзя забывать, что система XYZ рождена системой RGB и без нее лишается смысла.

Сравнение колориметрических систем измерения цвета и равноконтрастных систем

3. Система λ , p , L : очень наглядна, а ее координаты непосредственно связаны с нашими ощущениями. Доминирующую длину волны λ мы воспринимаем как цветовой тон, т.е. то, что мы, собственно, и называем цветом.

Чистоту p мы воспринимаем как насыщенность, т.е. интенсивность окраски, а яркость L (или коэффициент отражения ρ) является для нас характеристикой светлоты.

Сравнение колориметрических систем измерения цвета и равноконтрастных систем

Равноконтрастные же системы принципиально отличаются от колориметрических и относятся к той области цветоведения, которую Шредингер назвал высшей метрикой цвета.

Итог: цвет – как физическая величина – находится в компетенции точной науки – колориметрии.

Цвет – как ощущение, как восприятие – в компетенции психологии.

Связывать физику и психологию – задача явно нелегкая.

