

## **СІЕ 1997 — ПРОМЕЖУТОЧНАЯ МОДЕЛЬ ЦВЕТОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ СІЕСАМ97<sub>s</sub> (УПРОЩЕННАЯ ВЕРСИЯ)**

Международная комиссия по освещению TC1-34

В подготовке данного технического отчета принимали участие следующие члены TC1-34:

Paula J. Alessi (США)

Mark D. Fairchild — председатель (США)

K. Hashimoto (Япония)

Robert W.G. Hunt (Англия)

M. Ronnier Luo (Англия)

Leo Mori (Япония)

Yoshinobu Nayatani (Япония)

Thorstein Seim (Норвегия)

H. Sobagaki (Япония)

Klaus Richter (Германия)

TC (технический комитет СІЕ. — *Прим. пер.*) действует под эгидой первого подразделения СІЕ — «Зрение и Цвет».

## РЕЗЮМЕ

ТС1-34 (Комитет по испытанию моделей цветовых ощущений) был учрежден для проверки различных моделей, предсказывающих цветовые ощущения от объектов. В дальнейшем полномочия ТС1-34 были расширены для того, чтобы позиционировать и рекомендовать к использованию единственную, наилучшую, модель. Комитет сформулировал и утвердил упрощенную версию такой модели, предназначенную для применения ее на практике, а также полную версию — для широкого диапазона условий и обстоятельств просмотра.

ТС1-34 будет продолжать работу по тестированию этой и других моделей. Данный отчет резюмирует формулировку упрощенной версии Промежуточной модели цветовых ощущений CIECAM97s. В дальнейшем предусмотрено создание и публикация полной версии модели — CIECAM97c.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В марте 1996 г., в Вене, CIE проводила экспертный симпозиум «Цветовые стандарты в технологии изображений» (CIE, 1996). Данный симпозиум охватил множество аспектов технологии изображений, по которым CIE могла бы предложить промышленности руководства и стандарты. Одним из важнейших итогов симпозиума было утверждение для общего употребления т.н. модели цветовых ощущений (Color Appearance Model — CAM). Представители промышленности признали необходимость создания такой модели, но потребовали от руководства CIE утверждения ее единственного варианта, который мог бы использоваться во всех отраслях промышленности, чтобы обеспечивать однородность результатов и совместимость различных компонентов современных медиасистем.

### 1.1 Общие положения

Модели цветовых ощущений — это расширение традиционной колориметрии (к примеру XYZ или CIELAB), ориентированное на предсказание ощущений наблюдателя, вызванных цветовыми стимулами в разных условиях просмотра. Она учитывает координаты стимула (tristimulus values), его фон, окружение, стимул адаптации, уровень яркости и прочие факторы, в частности, делая поправку на фактическое освещение. Результирующая модель включает в себя математическое выражение таких атрибутов восприятия как: яркость, светлота, красочность, chroma\*, насыщенность и цветовой тон. Модели цветовых ощущений применимы в сферах цифрового цветорепродукции и оценки цветовоспроизводящих свойств источников освещения.

Требования к единичной модели были сформулированы и резюмированы в презентации Ханта (1996), проведенной на венском симпозиуме. В этой презентации Хант рассмотрел статус и историческое развитие различных моделей и сформулировал 12 положений по утверждению CIECAM97s. Эти принципы (см. ниже) служили руководством для ее конструирования.

1. Модель по возможности должна охватывать все сферы своих потенциальных приложений. Однако из-за огромных сложностей в учете динамических эффектов на данном этапе учитывается лишь неизменный статус адаптации.
2. Модель должна охватывать широкий диапазон интенсивностей стимула: от очень темных цветов объекта до очень ярких, самосветящихся цветов. Поэтому функция динамического ответа должна иметь максимум, и не может быть простой логарифмической или энергетической функцией.
3. Модель должна покрывать широкий диапазон адаптаций: от очень низкого скотопического уровня (к примеру, адаптация при свете звезд), до очень высокого фотопического (к примеру, адаптация к солнечному свету). То есть в модель должно быть включено палочковое зрение. Однако, поскольку для большинства практических приложений учет палочкового зрения не столь важен, модель должна работать и в беспалочковом варианте.
4. Модель должна покрывать широкий диапазон условий просмотра, включающих фоны с различными коэффициентами яркости, а также темные, тусклые и усредненные окружения. Учет разных окружений необходим, потому что широко распространены проекционные и самосветящиеся дисплеи.
5. Для простоты использования спектральные чувствительности колбочек должны быть линейно преобразованы в CIE  $\bar{x} \bar{y} \bar{z}$  или  $\bar{x}_{10} \bar{y}_{10} \bar{z}_{10}$ -функции, а для спектральной чувствительности палочек должна быть использована функция видности  $V(\lambda)$ . Поскольку скотопические фотометрические данные часто неизвестны, должны быть выработаны методы, обеспечивающие приблизительный расчет скотопических значений.
6. Модель должна учитывать полную и неполную степени адаптации, а также эффект Хельсона-Джадда (опционально).

\* В данной работе термин "chroma" не может быть переведен как "насыщенность", так как встречается наряду с "saturation".

7. Модель должна предсказывать цветовой тон (его угол и квадратуру), яркость, светлоту, насыщенность, chroma и красочность.
8. Модель должна уметь работать в обратном направлении.
9. Для удовлетворения вышеперечисленных требований модель не должна быть сложнее, чем необходимо.
10. Любая упрощенная версия модели, предназначенная для специфического применения, должна предсказывать при прочих равных условиях цветовые ощущения так же, как и полная модель.
11. Модель должна предсказывать цветовые ощущения не хуже, чем имеющаяся действующая модель, оптимизированная для данной конкретной сферы применения.
12. Модель должна работать и в отношении абсолютных цветов (возникающих в темном окружении и изоляции от других цветов).

В заключение симпозиум постановил, что CIE должна немедленно начать работу по формулировке такой модели, чтобы закончить ее до начала четырехлетнего юбилея AIC (Международной цветовой ассоциации), проводимого в Киото в мае 1997 г. CIE решила, что эта задачу нужно возложить на TC1-34. Данный отчет детализирует упрощенную версию модели, принятую TC1-34 для встречи в Киото (май 1997 г.).

Многие определения в сфере цветовых ощущений требуют высокой точности. В данном отчете все термины придерживаются определений Международного осветительного словаря (CIE, 1987). Подробно их типичное применение в сфере цветовых ощущений описано Фершильдсом (Fairchild, 1998).

## 2. CIECAM97S-МОДЕЛЬ

Следует отметить, что формулировка CIECAM97s — это труд многих ученых, исследующих цветовые ощущения человека, и данная модель, утвержденная TC1-34 — это лучшее, что есть на сегодня. Над различными аспектами модели трудились: Бартлесон, Бренеман, Фершильд, Эстевец, Хант, Лэм, Луо, Натаяни, Ригг, Сайм и Вальберг с сотрудниками. Примеры их вклада: брэдфордское преобразование хроматической адаптации (Лэм, 1985; Луо, 1997), исследование различий в показателях коротковолнового ответа (Натаяни и др., 1982); вычисление коэффициентов частной адаптации (Фершильд, 1996; Натаяни, 1997); исследования колбочковой чувствительности (Эстевец; см. также Хант и Поинтер, 1985); описание функции гиперболического ответа (Сайм и Вальберг, 1986); Хантом (1994) и Натаяни (1995) предложены красно-зеленые и желто-синие шкалы; исследование эффектов окружения (Бартлесон и Бренеман, 1967); работы по предсказанию неотрицательной светлоты (Натаяни, 1995; Фершильд, 1996) и шкала chroma, предложенная Хантом (1994). Итак, ясно, что CIECAM97s — это совокупный результат широкого диапазона исследований цветовых ощущений человека.

Предварительное испытание показало, что CIECAM97s ничуть не хуже (если не лучше) того, что было ранее опубликовано на основе широкого диапазона экспериментальных данных (Хант, 1997). Результаты предварительного теста будут представлены в финальном отчете TC1-34. Полная модель CIECAM97s, которая является производной от простой модели CIECAM97s, имеет ряд дополнительных свойств (но не ограничивается ими) включающих в себя палочковый ответ, предсказание эффектов Хельсона-Джадда и Гельмгольца-Кольрауша, а также опции работы с абсолютными цветами. Также важно отметить, что эти модели призваны быть эмпирическими моделями, способными к предсказанию доступных визуальных данных. Ожидается, что будущие научные открытия позволят создать теоретически более верные модели, способные к предсказанию экспериментальных результатов.

### 2.1 Входные данные

Входные данные:

- общая яркость поля адаптации в  $\text{cd/m}^2$  (обычно составляет 20% яркости белого в адаптационном поле) —  $L_A$ ;
  - относительные координаты образца в исходных условиях — XYZ;
  - относительные координаты белого в исходных условиях —  $X_W Y_W Z_W$ ;
  - относительная яркость исходного фона в исходных условиях —  $Y_b$ ;
- Дополнительные константы:

- $c$  — влияние окружения;
- $N_c$  — коэффициент хроматической индукции;
- $F_{LL}$  — коэффициент светлотного контраста;
- $F$  — коэффициент степени адаптации

выбираются согласно указаниям в таблице 2.1.

Все CIE-координаты должны быть получены с использованием Стандартного колориметрического наблюдателя CIE от 1931 г (CIE, 1986). Фон определен как область, непосредственно окружающая интересующий стимул, окружение — как оставшееся визуальное поле. Относительные яркости окружения считаются средними, если они выше чем приблизительно 20% яркости белого в сцене; те, что меньше 20% — считаются тусклыми; те, что стремятся к 0%, — темными.

Таблица 2.1 Руководство по выбору параметров, используемых в CIECAM97s

Условия просмотра	$c$	$N_c$	$F_{LL}$	$F$
Среднее окружение, образец захватывает $>4^\circ$	0.69	1.0	0.0	1.0
Среднее окружение	0.69	1.0	1.0	1.0
Тусклое окружение	0.59	1.1	1.0	0.9
Темное окружение	0.525	0.8	1.0	0.9
Разделенные слайды (в просмотровой кабине)	0.41	0.8	1.0	0.9

2.2 Хроматическая адаптация

Вначале преобразование хроматической адаптации использует переход от исходных условий просмотра к цветопередаче в условиях просмотра с равноэнергетическим эталонным осветителем.

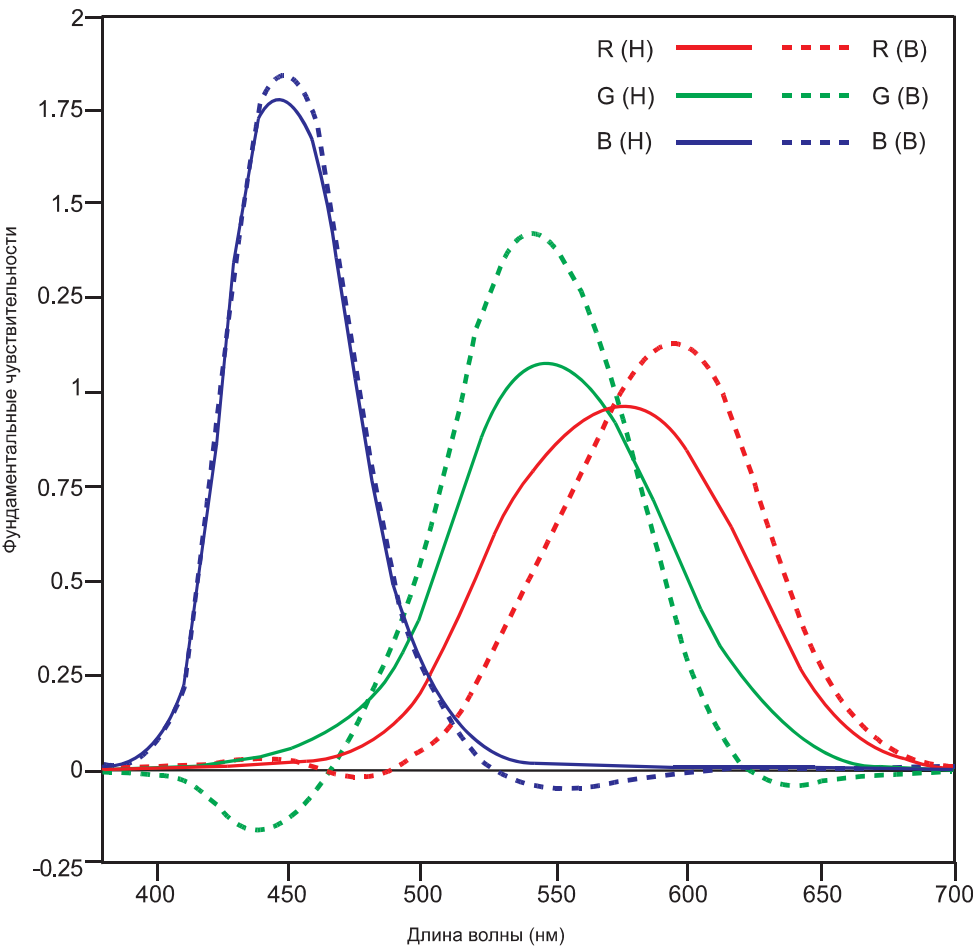


Рис. 2.1 Фундаментальные («колбочковые») чувствительности, полученные с использованием брэдфордского преобразования —  $M_B$  (пунктирные линии) и преобразования Ханта-Поинтера-Эстеvec —  $M_n$  (сплошные линии).

XYZ-координаты образца и точки белого прежде всего нормируются, а затем преобразуются в т.н. узко-спектральные колбочковые ответы, показанные на рис. 2.1, с использованием преобразования по формулам 2.1 и 2.2. Отметим, что первое матричное преобразование (формула 2.2) было применено к спектральным XYZ-координатам Стандартного колориметрического наблюдателя для создания кривых, показанных на рис. 2.1.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_B \begin{bmatrix} X/Y \\ Y/Y \\ Z/Y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

(Иногда брэдфордские и хантовские кардинальные стимулы обозначают как  $\rho \gamma \beta$  с соответствующими индексами. — Прим. пер.)

$$M_B = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \quad M_B^{-1} = \begin{bmatrix} 0.9870 & -0.1471 & 0.1600 \\ 0.4323 & 0.5184 & 0.0493 \\ -0.0085 & 0.0400 & 0.9685 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Преобразование хроматической адаптации — это модифицированное фонкризовское преобразование с экспоненциальной нелинейностью в канале коротковолновой чувствительности — формулы с 2.3 по 2.6. Переменная  $D$  используется для спецификации уровня адаптации.  $D$  устанавливается на 1.0 для полной адаптации или поправки на осветитель (что типично для отражающих материалов).  $D$  устанавливается на 0.0 при отсутствии адаптации.  $D$  имеет промежуточные значения при различных величинах неполной хроматической адаптации. Формула 2.7 позволяет вычислять промежуточное значение  $D$  для различных уровней яркости и для различных условий окружения.

$$R_c = [D(1.0 / R_w) + 1 - D]R \quad (2.3)$$

$$G_c = [D(1.0 / G_w) + 1 - D]G \quad (2.4)$$

$$B_c = [D(1.0 / B_w^p) + 1 - D]B^p \quad (2.5)$$

$$p = (B_w / 1.0)^{0.0834} \quad (2.6)$$

$$D = F - F / [1 + 2(L_A^{1/4}) + (L_A^2) / 300] \quad (2.7)$$

Если  $B$  оказался отрицательным, то  $B_c$  тоже должен стать отрицательным. Подобные преобразования выполняются также и для белого, так как они понадобятся при дальнейших вычислениях. Прежде чем приступить к ним, необходимо рассчитать ряд коэффициентов, показанных в формулах от 2.8 до 2.12. Это будут:

- коэффициент фоновой индукции —  $n$ ;
- коэффициенты индукции фоновой и хроматической яркости —  $N_{bb}$  и  $N_{cb}$ ;
- и базовая экспоненциальная нелинейность —  $z$ .

$$k = 1 / (5L_A + 1) \quad (2.8)$$

$$F_L = 0.2k^4(5L_A) + 0.1(1 - k^4)^2(5L_A)^{1/3} \quad (2.9)$$

$$n = Y_b / Y_w \quad (2.10)$$

$$N_{BB} = N_{CB} = 0.725(1/n)^{0.2} \quad (2.11)$$

$$z = 1 + F_{LL} n^{1/2} \quad (2.12)$$

Постадаптационные сигналы для образца и белого затем преобразуются из направленных колбочковых ответов в колбочковые ответы Ханта-Поинтера-Эстеваца по формулам 2.13 и 2.14 (см. рис. 2.1.). Данное преобразование выполняется до применения к ним нелинейной компрессии.

$$\begin{bmatrix} R^l \\ G^l \\ B^l \end{bmatrix} = M_H M_B^{-1} \begin{bmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$M_H = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68898 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00 & -0.0 & 1.00 \end{bmatrix} \quad M_H^{-1} = \begin{bmatrix} 1.9102 & -1.1121 & 0.2019 \\ 0.3710 & 0.6291 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Постадаптационные колбочковые ответы (для образца и белого) затем вычисляются по формулам с 2.15 по 2.17.

$$R_a^l = \frac{40(F_L R^l / 100)^{0.73}}{[(F_L R^l / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.15)$$

$$G_a^l = \frac{40(F_L G^l / 100)^{0.73}}{[(F_L G^l / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.16)$$

$$B_a^l = \frac{40(F_L B^l / 100)^{0.73}}{[(F_L B^l / 100)^{0.73} + 2]} + 1 \quad (2.17)$$

## 2.3. Корреляция с ощущениями

Предварительные красно-зеленые и желто-синие оппонентные величины рассчитываются согласно формулам 2.18 и 2.19

$$a = R_a^l - 12 G_a^l / 11 + B_a^l / 11 \quad (2.18)$$

$$b = (1/9)(R_a^l + G_a^l - 2B_a^l) \quad (2.19)$$

Угол цветового тона (h) в CIECAM97s вычисляется из «a» и «b» по формуле 2.20

$$h = \tan^{-1}(b / a) \quad (2.20)$$

Квадратура цветового тона (H) и коэффициенты оригинальности (e) рассчитываются из полученных значений цветового тона путем линейной интерполяции между нижеследующими фиксированными значениями цветовых тонов:

Красный: h = 20.14, e = 0.8, H = 0 или 400,

Желтый: h = 90.00, e = 0.7, H = 100,

Зеленый: h = 164.25, e = 1.0, H = 200,

Синий: h = 237.53, e = 1.2, H = 300.

Формулы 2.21 и 2.22 иллюстрируют вычисление «e» и «H» для произвольного угла цветового тона, где величины 1 и 2 относятся к вышеупомянутым фиксированным углам цветового тона, лежащим выше и ниже интересующего угла.

$$e = e_1 + (e_2 - e_1)(h - h_1) / (h_2 - h_1) \quad (2.21)$$

$$H = H_1 + \frac{100(h - h_1) / e_1}{(h - h_1) / e_1 + (h_2 - h) / e_2} \quad (2.22)$$

Ахроматический ответ вычисляется по формуле 2.23 для образца и белого.

$$A = [2R_a^l + G_a^l + (1/20)B_a^l - 2.05]N_{bb} \quad (2.23)$$

CIECAM97s-светлота (J) вычисляется из ахроматических сигналов образца (A) и белого ( $A_w$ ) по формуле 2.24

$$J = 100(A / A_w)^{0.2} \quad (2.24)$$

CIECAM97s-яркость (Q) вычисляется из CIECAM97s-светлоты и ахроматического ответа по белому с помощью формулы 2.25

$$Q = (1.24 / c)(J / 100)^{0.67}(A_w + 3)^{0.9} \quad (2.25)$$

И, наконец, CIECAM97s-насыщенность (s); CIECAM97s-chroma (C) и CIECAM97s-красочность (M) вычисляются по формулам с 2.26 по 2.28 соответственно.

$$s = \frac{50(a^2 + b^2)^{1/2} 100e(10 / 13)N_c N_{cb}}{R_a^l + G_a^l + (21 / 20)B_a^l} \quad (2.26)$$

$$C = 2.44s^{0.69}(J / 100)^{0.67n}(1.64 - 0.29^n) \quad (2.27)$$

$$M = CF_L^{0.15} \quad (2.28)$$

### 3. ВЫВОДЫ

CIE TC1-34 позиционирует CIECAM97s как временное решение проблем спецификации цветовых ощущений. Данная модель должна помочь нуждам различных отраслей промышленности в обеспечении их единой CIE-сертифицированной моделью цветовых ощущений человека, которая включает в себя лучшие черты существующих моделей. TC1-34 планирует подвергнуть эту и другие модели дальнейшему испытанию. Есть основания ожидать в дальнейшем появления новой, более точной и теоретически обоснованной модели\*.

#### 3.1 Рекомендации по применению CIECAM97s (упрощенная версия)

Модель CIECAM97s должна быть адекватной большинству практических приложений, требующих метрики цветовых ощущений и более сложных преобразований, чем те, что предлагает цветовое пространство CIELAB, которое, как мы знаем, не учитывает влияния на цветовое ощущение палочковых фоторецепторов, эффекта Хельсона-Джадда, Гельмгольца-Кольрауша и не рассматривает процесс возникновения абсолютных цветов. Более полная модель, такая, как планируемая CIECAM97c, должна принимать во внимание также и то, при каких условиях важен учет перечисленных феноменов.

CIECAM97s обеспечивает математические шкалы корреляции с различными перцепционными атрибутами ощущений, но она не строит цветового пространства в явном виде. Корреляты CIECAM97s-светлоты, chroma и цветового тона (J, C, h) могут быть использованы для создания цветового пространства, если рассматривать их как цилиндрические координаты, подобные координатам CIELAB —  $L^*$ ,  $C_{ab}^*$  и  $h_{ab}$ . Можно построить альтернативное цветовое пространство яркости-красочности на основе использования CIECAM97s Q, M и h как цилиндрических координат. Если требуется прямоугольное пространство, оно может быть построено с помощью обычной цилиндро-ректангулярной трансформации координат (к примеру J,  $C\cos(h)$  и  $C\sin(h)$  или Q,  $M\cos(h)$  и  $M\sin(h)$  могут использоваться в качестве прямоугольных координат).

Многие ожидают от CIECAM97s решения проблемы спецификации цветовых отличий. Но на сегодня CIECAM97s не позиционируется как пространство цветовых отличий. Вероятно, вычислять цветовые отличия в рамках евклидовой метрики внутри описанных выше прямоугольных цветовых пространств можно, но пока еще нет практических данных, указывающих на то, что такие расчеты лучше (или хуже), чем текущая рекомендация CIE94 по цветовым отличиям (CIE, 1995).

\* Сегодня это модель CIECAM02 — Прим. пер.



## 4. ПРИЛОЖЕНИЕ

### 4.1. Примеры вычислений

Примеры вычислений с использованием CIECAM97s для четырех образцов даны в таблице 4.1. Отметим, что модули шкал светлоты и chroma в CIECAM97s сопоставимы с таковыми в CIELAB. Все вычисления были выполнены с двойной точностью. При вычислении с единичной точностью результаты получаются слегка разными. (Вычисления угла цветового тона для околонеитральных цветов [Вариант 1] — это редкий пример того, когда большие числовые отличия могут иметь слабое визуальное значение, например, с того момента, когда цветовой тон ахроматического образца не может быть достоверно определен). Файл Microsoft Excel с примером таких вычислений для CIECAM97s можно найти на <http://www.cis.rit.edu/people/faculty/fairchild/CAM.html>\*

Таблица 4.1 Пример вычислений с использованием CIECAM97s для четырех образцов

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
X	19.01	57.06	3.53	19.01
Y	20.00	43.06	6.56	20.00
Z	21.78	31.96	2.14	21.78
$X_w$	95.05	95.05	109.85	109.85
$Y_w$	100.00	100.00	100.00	100.00
$Z_w$	108.88	108.88	35.58	35.58
$L_A$ (cd/m <sup>2</sup> )	318.31	31.83	318.31	31.83
F	1.0	1.0	1.0	1.0
D	0.997	0.890	0.997	0.890
$Y_b$	20.0	20.0	20.0	20.0
c	0.69	0.69	0.69	0.69
$N_c$	1.0	1.0	1.0	1.0
$F_{LL}$	1.0	1.0	1.0	1.0
k	0.0006	0.0062	0.0006	0.0062
$F_L$	1.17	0.54	1.17	0.54
n	0.20	0.20	0.20	0.20
$N_{bb}$	1.00	1.00	1.00	1.00
$N_{cb}$	1.00	1.00	1.00	1.00
z	1.45	1.45	1.45	1.45
R	0.94	1.33	0.70	0.94
G	1.04	0.75	1.32	1.04
B	1.09	0.75	0.29	1.09
$R_w$	0.94	0.94	1.19	1.19

\* Сегодня по данной ссылке находятся примеры вычислений для CIECAM02. — Прим. пер.

$G_w$	1.04	1.04	0.90	0.90
$B_w$	1.09	1.09	0.34	0.34
$p$	1.01	1.01	0.91	0.91
$R_c$	1.00	1.41	0.58	0.81
$G_c$	1.00	0.72	1.46	1.14
$B_c$	1.00	0.69	0.86	2.70
$R_{cw}$	1.00	0.99	1.00	1.02
$G_{cw}$	1.00	1.00	1.00	0.99
$B_{cw}$	1.00	1.01	1.00	0.93
$R'$	20.0	51.2	5.58	18.9
$G'$	20.0	39.3	7.70	23.0
$B'$	20.0	29.5	5.80	53.0
$R'_w$	100.0	99.7	100.0	101.0
$G'_w$	100.0	100.2	100.0	99.4
$B'_w$	100.0	101.0	99.8	93.3
$R'_a$	6.90	7.56	3.55	4.46
$G'_a$	6.90	6.57	4.17	4.94
$B'_a$	6.90	5.64	3.62	7.70
$R'_{aw}$	15.4	10.7	15.4	10.7
$G'_{aw}$	15.4	10.7	15.4	10.7
$B'_{aw}$	15.4	10.7	15.3	10.3
$a$	-0.0005	0.90	-0.67	-0.23
$b$	-0.0004	0.32	0.05	-0.67
$h$	219.4	19.35	175.4	250.8
$H$	270	399	218	307
$H_c$ (Красный)	0	99	0	7
$H_c$ (Желтый)	0	0	0	0
$H_c$ (Зеленый)	30	0	82	0
$H_c$ (Синий)	70	1	18	93
$e$	1.15	0.80	1.03	1.16
$A$	18.99	19.92	9.40	12.19
$A_w$	44.80	30.54	44.80	30.62
$J$	42.44	65.27	21.04	39.88
$Q$	32.86	31.88	20.53	22.96
$s$	0.14	146.98	232.16	180.56
$C$	0.47	61.97	72.99	66.85
$M$	0.49	56.52	74.70	60.98

## 4.2 Инверсия CIECAM97s-модели

Шаги по использованию CIECAM97s-модели в обратном направлении (для вычисления цветовых ответов или работы цветорепродукционных приложений):

Исходные данные:

$Q$  или  $J$ ,  $M$  или  $C$ ,  $H$  или  $h$ .

$A_w$ ,  $n$ ,  $z$ ,  $F_L$ ,  $N_{bb}$ ,  $N_{cb}$ , полученные с использованием передовой модели.

Параметры окружения:  $F$ ,  $s$ ,  $F_{LL}$ ,  $N_c$   
 Параметры уровня освещения:  $L_A$ ,  $D$   
 Фиксированные данные цветового тона:  
 Красный:  $h = 20.14$ ,  $e = 0.8$   
 Желтый:  $h = 90.00$ ,  $e = 0.7$   
 Зеленый:  $h = 164.25$ ,  $e = 1.0$   
 Синий:  $h = 237.53$ ,  $e = 1.2$

(1) Получение  $J$  из  $Q$  (если необходимо)

$$J = 100(Q_c / 1.24)^{1/0.67} / (A_w + 3)^{0.9/0.67} \quad (4.10)$$

(2) Получение  $A$  из  $J$

$$A = (J / 100)^{1/cz} A_w \quad (4.2)$$

(3) Использование  $H$ , определение  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $e_1$ ,  $e_2$  (если  $h$  недоступен).

$e_1$  и  $h_1$  — это ближайшие меньшие значения фиксированного цветового тона;  $e_2$  и  $h_2$  — это ближайшие большие значения фиксированного цветового тона.

(4) Вычисление  $h$  (если необходимо)

$$h = [(H - H_1)(h_1 / e_1 - h_2 / e_2) - 100h_1 / e_1] / [(H - H_1)(1/e_1 - 1/e_2) - 100/e_1] \quad (4.3)$$

$H_1$  — это 0, 100, 200 или 300; соответственно красный, желтый, зеленый или синий, цветовой тон имеющий ближайшее меньшее значение  $h$ .

(5) Вычисление  $e$

$$e = e_1 + (e_2 - e_1)(h - h_1) / (h_2 - h_1) \quad (4.4)$$

$e_1$  и  $h_1$  — это ближайшие меньшие значения фиксированного цветового тона;  $e_2$  и  $h_2$  — это ближайшие большие значения фиксированного цветового тона.

(6) Вычисление  $C$  (если необходимо)

$$C = M / F_L^{0.15} \quad (4.5)$$

(7) Вычисление  $s$

$$s = C^{1/0.69} / [2.44(J / 100)^{0.67n}(1.64 - 0.29^n)]^{1/0.69} \quad (4.6)$$

(8) Вычисление  $a$  и  $b$

$$a = s(A / N_{bb} + 2.05) / \left\{ [1 + (\tanh)^2]^{1/2} [50000eN_cN_{cb} / 13] + s[(11/23) + (108/23)(\tanh)] \right\} \quad (4.7)$$

В вычислении  $[1 + (\tanh)^2]^{1/2}$  результат будет:

положительным для  $0^\circ \leq h < 90^\circ$

отрицательным для  $90^\circ \leq h < 270^\circ$

положительным для  $270^\circ \leq h < 360^\circ$

$$b = a(\tanh) \quad (4.8)$$

(9) Вычисление  $R_a^l$ ,  $G_a^l$ ,  $B_a^l$ :

$$R_a^l = (20/61)(A / N_{bb} + 2.05) + (41/61)(11/23)a + (288/61)(1/23)b \quad (4.9)$$

$$G_a^l = (20/61)(A / N_{bb} + 2.05) + (81/61)(11/23)a + (261/61)(1/23)b \quad (4.10)$$

$$B_a^l = (20 / 61)(A / N_{bb} + 2.05) + (20 / 61)(11 / 23)a + (20 / 61)(315 / 23)b \quad (4.11)$$

(10) Вычисление  $R^l, G^l, B^l$

$$R^l = 100 \left[ (2R_a^l - 2) / (41 - R_a^l) \right]^{1/0.73} \quad (4.12)$$

$$G^l = 100 \left[ (2G_a^l - 2) / (41 - G_a^l) \right]^{1/0.73} \quad (4.13)$$

$$B^l = 100 \left[ (2B_a^l - 2) / (41 - B_a^l) \right]^{1/0.73} \quad (4.14)$$

Если  $R_a^l - 1 < 0$ , то использовать:

$$R^l = -100 \left[ (2 - 2R_a^l) / (39 + R_a^l) \right]^{1/0.73} \quad (4.15)$$

и аналогично для  $G^l$  и  $B^l$  формул.

(11) Вычисление  $R_c Y, G_c Y$  и  $B_c Y$

$$\begin{vmatrix} R_c Y \\ G_c Y \\ B_c Y \end{vmatrix} = M_B M_H^{-1} \begin{vmatrix} R^l / F_L \\ G^l / F_L \\ B^l / F_L \end{vmatrix} \quad (4.16)$$

(12) Вычисление  $Y_c$

$$Y_c = 0.43231 R_c Y + 0.51836 G_c Y + 0.04929 B_c Y \quad (4.17)$$

(13) Вычисление  $(Y / Y_c)R, (Y / Y_c)G$  и  $(Y / Y_c)^{1/p}B$

$$(Y / Y_c)R = (Y / Y_c)R_c / [D(1 / R_w) + 1 - D] \quad (4.18)$$

$$(Y / Y_c)G = (Y / Y_c)G_c / [D(1 / G_w) + 1 - D] \quad (4.19)$$

$$(Y / Y_c)^{1/p}B = [(Y / Y_c)B_c]^{1/p} / [D(1 / B_w^p) + 1 - D]^{1/p} \quad (4.20)$$

Если  $(Y / Y_c)B_c < 0.0$ , то  $(Y / Y_c)^{1/p}B$  также должно быть отрицательным.

(14) Вычисление  $Y^l$

$$Y^l = 0.43231 YR + 0.51836 YG + 0.04929 (Y / Y_c)^{1/p} B Y_c \quad (4.21)$$

(15) Вычисление  $X^{ll}, Y^{ll}$  и  $Z^{ll}$

$$\begin{vmatrix} X^{ll} \\ Y^{ll} \\ Z^{ll} \end{vmatrix} = M_B^{-1} \begin{vmatrix} Y_c (Y / Y_c)R \\ Y_c (Y / Y_c)G \\ Y_c (Y / Y_c)^{1/p}B / (Y^l / Y_c)^{(1/p-1)} \end{vmatrix} \quad (4.22)$$

**Примечание:**  $X^{ll}, Y^{ll}$  и  $Z^{ll}$  равны желаемым  $X, Y$  и  $Z$  с очень высокой степенью приближения. Поскольку  $Y^l$  отличается от  $Y$  начиная с  $(Y / Y_c)^{1/p} B Y_c$ , то он используется вместо  $YB$ . Однако можно просто выполнить умножение на 0,04929, поскольку отличия очень малы.

**Ссылки:**

- Bartleson, C.J. and Breneman, E.J., (1967), Brightness perception in complex fields, J. Opt. Soc. Am. 57, 953-957.
- CIE, (1986), Colorimetry, CIE Pub. No. 15.2, Vienna.
- CIE, (1987), International Lighting Vocabulary, CIE Pub. No. 17.4, Vienna.
- CIE, (1995), Industrial Colour-Difference Evaluation, CIE Tech. Rep. 116, Vienna.
- CIE, (1996), CIE Expert Symposium '96 Colour Standards for Image Technology, CIE Pub. No. x010, Vienna.
- Fairchild, M.D., (1996), Refinement of the RLAB color space, Color Res. Appl. 21, 338-346.
- Fairchild, M.D., (1998), Color Appearance Models, Addison-Wesley, Reading, Mass.
- Hunt, R.W.G. and Pointer, M.R., (1985), A colour-appearance transform for the CIE 1931 Standard Colorimetric Observer, Color Res. Appl. 10, 165-179.
- Hunt, R.W.G., (1994), An improved predictor of colourfulness in a model of colour vision Color Res. Appl. 19, 23-26.
- Hunt, R.W.G., (1996), The function, evolution, and future of colour appearance models, CIE Expert Symposium '96, Colour Standards for Image Technology, CIE Pub. x010, Vienna. 21
- Hunt, R.W.G., (1997), Comparison of the structures and performances of colour appearance models, AIC Color 97, Kyoto, 171-174.
- Lam, K.M., (1985), Metamerism and colour constancy, Ph.D. Thesis, University of Bradford.
- Luo, M.R., (1997), The LLAB model for colour appearance and colour difference evaluation, Recent Progress in Color Science, IS&T, Springfield, VA., 158-164.
- Nayatani, Y., Takahama, K., Sobagaki, H., and Hirona, J., (1982), On exponents of a nonlinear model of chromatic adaptation, Color Res. Appl. 7, 34-45.
- Nayatani, Y., (1995), Revision of chroma and hue scales of a nonlinear colorappearance model, Color Res. Appl. 20, 143-155.
- Nayatani, Y., (1997), A simple estimation method for effective adaptation coefficient, Color Res. Appl. 20, 259-274.
- Seim, T. and Valberg, A., (1986), Towards a uniform color space: A better formula to describe the Munsell and OSA color scales, Color Res. Appl. 11, 11-24.