

УДК 535.6.08 (004.932)

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ В КОЛОРИМЕТРИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ****Савкова Е. Н.***Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь***Аннотация.** Представлена лабораторная технология установления нижних и верхних границ допускаемых значений в колориметрии цветowych изображений. Технология основана на тензорном исчислении.**Ключевые слова:** цифровое изображение, координата цветности, тензор, цветовое пространство.**NORMALIZATION OF ACCURACY IN DIGITAL IMAGES COLORIMETRY****Saukova Y.***Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus***Abstract.** AA laboratory technology for establishing the lower and upper limits of permissible values in colorimetry of color images is presented. The technology is based on tensor calculus.**Key words:** digital image, chromaticity coordinate, tensor, color space.*Адрес для переписки: Савкова Е. Н., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: savkova@bntu.by*

Измерение цвета заключается в идентификации его координат в выбранном цветовом пространстве с учетом положения точки «белого», характеризующей тип освещения. Точность определения цвета оценивается смещением центра тяжести геометрического места точек в цветовом пространстве или на графике цветностей в окрестности измеренного значения от опорного значения, а также рассеянием геометрического места точек. Таким образом, решения в колориметрии принимаются исходя из геометрического положения областей охвата (результатов измерений) по отношению к областям допусков. Чаще всего в области оценки соответствия используется аппаратно не зависимое цветовое пространство XYZ.

**Метрологическая прослеживаемость** опорного значения в колориметрии цифровых изображений обеспечивается путем построения условных многомерных виртуальных шкал со ссылкой на опорные значения координат цветности, наиболее точно воспроизводимые первичными эталонами, например, ГПСЭ РФ: для самосветящихся объектов с  $U_p(x) = 0,00177 - 0,00299$ ,  $U_p(y) = 0,00216 - 0,00324$ . Вторичный эталон единиц координат цветности РФ воспроизводит опорное значение с суммарным от 0,0006 до 0,0010. Пределы допускаемых абсолютных погрешностей рабочих эталонов координат цветности самосветящихся объектов составляют 0,002–0,005 для  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Эталонные значения длин волн для описания оптических материалов, оптических систем и средств нормируются ISO 7944:1998. Национальный эталон координат цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн (0,2–2,5) мкм Республики Беларусь НЭ РБ 3-00 (<http://belgim.by>) воспроизводит опорное значение несамосветящихся объектов с расширенной

неопределенностью измерения: спектральных коэффициентов направленного пропускания – 0,12 %; спектральных коэффициентов диффузного отражения – 0,5 %; координат цвета прозрачных образцов – 0,10; координат цвета светоотражающих образцов – 0,25.

**Нижние границы областей допусков** предлагается устанавливать на основе дефиниционных неопределенностей, в качестве которых можно использовать следующие параметры:

1. Приведенные выше расширенные неопределенности и средние квадратические отклонения первичных, вторичных и рабочих эталонов;
2. Эллипсы Мак-Адама, характеризующие минимальные области цветоразличения или области цветовой однородности излучения [1];
3. Бины и оптибины, построенные на основе эллипсов Мак-Адама показанные на рисунке 1 [1], применяемые для контроля качества источников света (величина порога цветоразличения в цветовом пространстве XYZ составляет 0,0059).

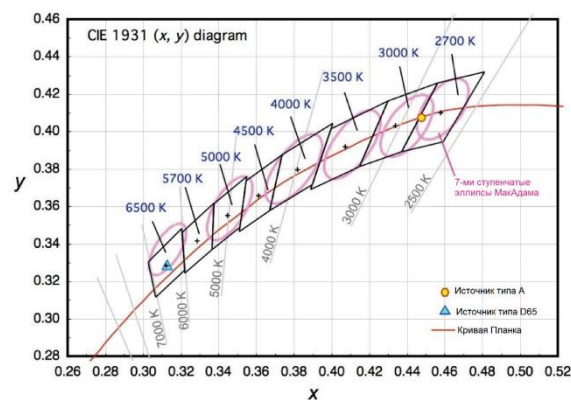


Рисунок 1 – 7-ступенчатые эллипсы МакАдама на цветовом графике МКО, 1931 г

4. Неопределенности определения значений зрительных  $L$ -,  $M$ -,  $S$ -рецепторов: для стимула  $Q$  со спектральным распределением света  $P_\lambda(\lambda)$ , его значения в LMS пространстве получают с точностью  $L_Q(419,0 \pm 3,6 \text{ нм})$ ,  $M_Q(530,8 \pm 3,6 \text{ нм})$  и  $S_Q(558,4 \pm 5,2 \text{ нм})$ . Бины и оптибины располагаются в центре графика цветностей, а удаленные от центра эллипсы МакАдама охватывают лишь его ограниченные области, что является существенным недостатком при принятии решений в измерениях. Данную проблему предлагается решить численными методами.

**Верхние границы областей допусков** предлагается устанавливать численными методами на основе тензорного исчисления цветового пространства. Для уменьшения неопределенности и рисков, возникающих в измерениях, предлагается установить дополнительные ограничители разделяющие цветовое пространство на сектора: по принципу превалирования удельных весов координат цвета (указаны в порядке убывания интенсивности цвета): 1) RGB; 2) RBG; 3) GRB; 4) GBR; 5) BRG; 6) BGR; цвета с одной переменной составляющей (указана на первой позиции) и двумя равными по удельным весам: 7) RG'B'; 8) GR'B'; 9) BR'G'; изохроматические цвета (только одна составляющая, остальные равны нулю) 10) RG<sub>0</sub>B<sub>0</sub>; 11) GR<sub>0</sub>B<sub>0</sub>; 12) BR<sub>0</sub>G<sub>0</sub>; цвета с одной переменной составляющей (указана на первой позиции) и двумя равными по удельным весам: 10) RG'B'; 11) GR'B'; 12) BR'G'; одна составляющая равна нулю: 13) RGB<sup>0</sup>; 14) RBG<sup>0</sup>; 15) GRB<sup>0</sup>; 16) GBR<sup>0</sup>; 17) BRG<sup>0</sup>; 18) BGR<sup>0</sup> и так далее. Указанные сектора цветового пространства рассматриваются как наибольшие области допускаемых значений измеряемой величины. Группы точек в цветовом пространстве XYZ, соответствующие координатам цвета линеек образцов во всех их состояниях от начала координат до плоскости графика цветностей, представляют наборы виртуальных мер, описываемые векторными полями. График цветностей с нанесенными численными методами точками показан на рисунке 2.

**Технология тензорного исчисления** позволяет автоматизировать процесс принятия решений путем нормирования точности в цветовом пространстве и на плоскости графика цветностей. Если  $\Psi$  – номер сектора цветового пространства,  $j$  – номер реализации опорного образца, соответствующая времени экспозиции  $T_j$ , то проекция структурного цветового тензора на плоскость графика цветностей (цветового локуса) цветового пространства XYZ с применением принципа обозначений Эйнштейна могут быть записаны в виде:

$$G^\Psi = \left( \frac{\sum_{j=1}^m ((x^\Psi)^2 + (y^\Psi)^2 + (z^\Psi)^2)}{\prod_{j=1}^m x_j^\Psi + \prod_{j=1}^m y_j^\Psi + \prod_{j=1}^m z_j^\Psi} \times \frac{\prod_{j=1}^m x_j^\Psi + \prod_{j=1}^m y_j^\Psi + \prod_{j=1}^m z_j^\Psi}{\sum_{j=1}^m ((x^\Psi)^2 + (y^\Psi)^2 + (z^\Psi)^2)} \right) \quad (1)$$

Пусть поверхность для уровня интенсивности, соответствующего времени экспозиции  $T$ , задается плоскостью  $\Omega_T$ , в данном случае – для  $T_1, T_2$  и  $T_3 - \Omega_1, \Omega_2$  и  $\Omega_3$ , лежащих на оси  $Z$  цветового пространства XYZ на отрезках  $1/m_1, 1/m_2$  и  $1/m_3$ . Тогда для векторного поля  $B_k = (X_k^T Y_k^T Z_k^T)$  нормальный вектор к плоскости  $\Omega_T$  будет  $r = (0, 0, 1/g)$ . Для плоскости графика цветностей  $r = (0, 0, 1)$ . Поток векторного поля через поверхность  $\Omega$ , описывающий расхождение векторного поля от начала координат до заданной плоскости, можно рассчитать с помощью поверхностного интеграла:

$$\Phi = \iint_{\Omega} B_k dB^T, \quad (2)$$

где  $B_k$  – векторное поле образца  $B_k$ ;  $dB^T$  – векторный элемент поверхности, равен произведению скалярного элемента поверхности  $db^T$  единичного нормального вектора  $r$  к поверхности. С учетом наибольших ( $x_{max}, y_{max}$ ) и наименьших ( $x_{min}, y_{min}$ ) значений координат цветности (после исключения выбросов) без учета поворота осей получим:

$$S = \pi(x_{max} - x_{min})(y_{max} - y_{min}). \quad (3)$$

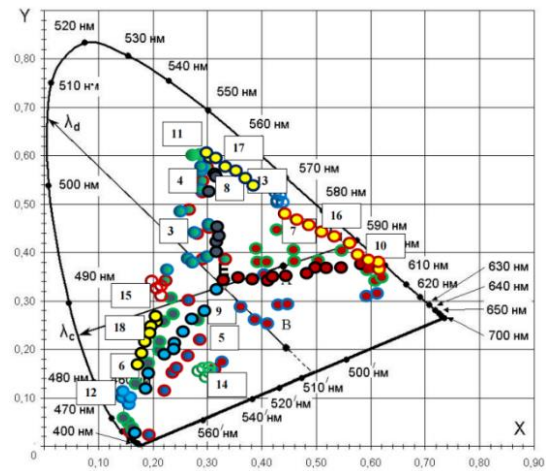


Рисунок 2 – Разделение цветового пространства на сектора

### Литература

1. Будаков, В. П. Преобразования эллипсов МакАдама в широком диапазоне яркостей / В. П. Будаков, Р. А. Делян // Материалы 33-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению, 19–21 сентября 2023 г., Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва, Российская Федерация. – С. 250–255.