

## ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ЛИНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЦВЕТНОСТЕЙ ЦВЕТОВОГО ЛОКУСА НА ОСНОВЕ СПЛАЙНОВ БЕЗЬЕ

И. О. ЖАРИНОВ<sup>1</sup>, О. О. ЖАРИНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
Опытно-конструкторское бюро „Электроавтоматика“ им. П. А. Ефимова,  
198095, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: igor\_rabota@pisem.net

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
190000, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены три способа интерполяции таблично заданной линии спектральных цветностей цветового локуса: на основе интерполяции в пространстве удельных координат цвета; на основе интерполяции в пространстве координат цветности; на основе интерполяции линии спектральных цветностей как некоторой таблично заданной кривой, обладающей признаками формы. Получены математические зависимости, описывающие поведение линии спектральных цветностей в видимом диапазоне длин волн.

**Ключевые слова:** колориметрический стандарт, locus, координаты цветности, интерполяция, кривая Безье.

**Введение.** Международной комиссией по освещению (МКО) в 1931 г. установлены значения удельных координат  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  излучения постоянной мощности для длин волн  $\lambda[i]$  монохроматических цветов в видимом человеком спектральном диапазоне 380—780 нм с шагом  $\Delta\lambda=5$  нм,  $i=0, 1, \dots, N_\lambda-1$ . Общее число таблично заданных отсчетов удельных координат цвета  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  составляет  $N_\lambda=81$ .

Соответствующая таблица данных утверждена рядом отечественных стандартов (в частности, ГОСТ 23198-94 „Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик“). По этим табличным данным для каждой длины волны  $\lambda[i]$  могут быть получены [1—5] соответствующие значения координат цветности  $(x[i], y[i])$  монохроматических цветов. Координата  $z[i]$  в колориметрических расчетах, как правило, не используется, поскольку может быть всегда определена через две другие координаты:  $z[i]=1-x[i]-y[i]$ .

Набор координат цветности  $\{x[i], y[i]\}$  для  $\lambda \in [380, 780]$  образует на XY-плоскости точно заданный с шагом  $\Delta\lambda$  контур, интерполяция значений отсчетов которого позволяет получить замкнутую кривую спектральных цветностей для монохроматических цветов, ограничивающую область цветового локуса [4]. Координаты цветности цветов, соответствующих длинам волн 380—780 нм, соединяются на XY-плоскости прямой — линией пурпурных цветов (ЛПЦ).

Интерполяция набора точек  $\{x[i], y[i]\}$  должна обеспечивать возможность получения промежуточных значений  $(x, y)$ -координат цветности монохроматических цветов с произвольно заданным шагом изменения длины волны, а не с фиксированным в 5 нм, как указано в стандартах МКО, соединение которых позволит получить „гладкую“ кривую цветового локуса.

Интерполяция таблично заданных спектральных кривых имеет важное практическое значение [5—8] для повышения точности колориметрических расчетов световых величин при различном спектральном составе воспринимаемого наблюдателем излучения. Ряд результатов интерполяции спектральных кривых образует основу стандартов, действующих в Российской

Федерации, в частности, ГОСТ 8.332-78 „Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения“.

**Задача интерполяции линии спектральных цветностей цветового локуса.** Основным требованием к методике интерполяции набора точек  $(x[i], y[i])$  является обеспечение непрерывности первой производной получаемой интерполирующей функции в заданных узловых точках  $(x[i], y[i])$ , за исключением крайних точек  $(x[0], y[0])$  и  $(x[80], y[80])$ .

Одним из эффективных способов решения задачи интерполяции является построение сплайн-функций. В рамках предметной области колориметрии практический интерес представляют три различных способа конструирования кривой, интерполирующей линию спектральных цветностей (рис. 1):

1) интерполяция в пространстве удельных координат цвета по трем таблично заданным последовательностям узловых точек  $(\lambda[i], \bar{x}(\lambda[i]))$ ,  $(\lambda[i], \bar{y}(\lambda[i]))$ ,  $(\lambda[i], \bar{z}(\lambda[i]))$ , с последующим получением значений  $(x, y)$ -координат цветности монохроматических цветов;

2) интерполяция в пространстве  $(x, y)$ -координат цветности по двум последовательностям узловых точек  $(\lambda[i], x[i])$ ,  $(\lambda[i], y[i])$ ;

3) интерполяция таблично заданной линии спектральных цветностей, заданной множеством узловых точек  $(x[i], y[i])$ , как некоторой кривой, обладающей характерными признаками формы, с определением соответствующего геометрического места точек на  $XU$ -плоскости.

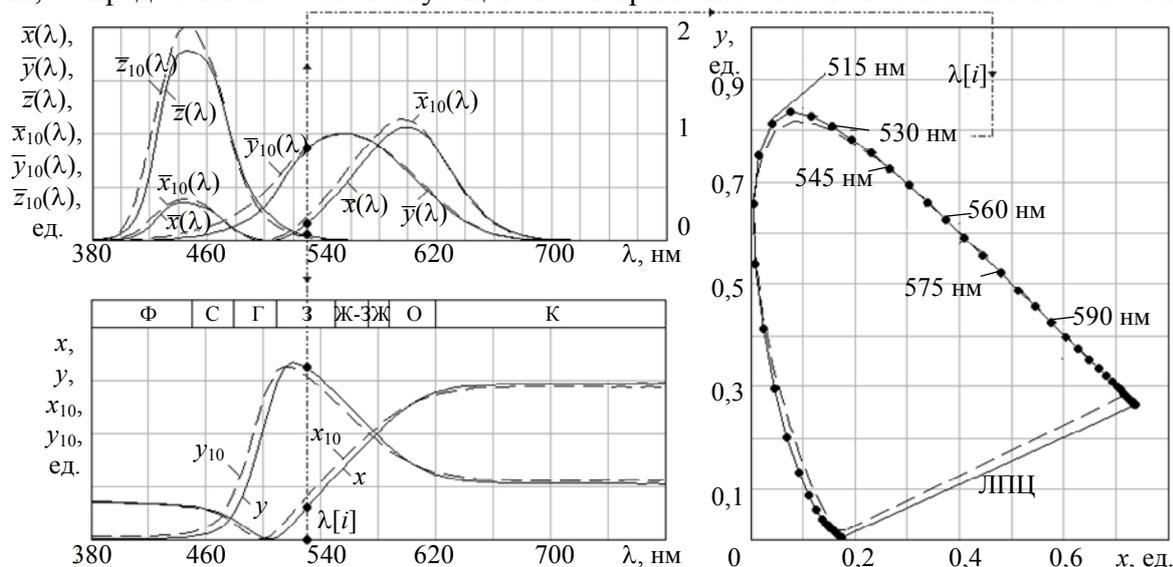


Рис. 1

На рис. 1 приведено семейство колориметрических графиков, принятых МКО (МКО 1931 г. — сплошная кривая; МКО 1964 г. — пунктир, у переменных индекс „10“; Ф — фиолетовый, С — синий, Г — голубой, Ж-З — желто-зеленый, Ж — желтый, О — оранжевый, К — красный цвет.

**Решение задачи интерполяции для линии спектральных цветностей.** Для решения задачи интерполяции в рамках первого и второго подходов могут быть использованы стандартные методы построения интерполирующих сплайнов, в частности, кубических. Однако форма кривой интерполирующей функции, полученной с помощью кубических сплайнов, характеризуется существенной „колебательностью“. Свойство нежелательной „колебательности“ обусловлено влиянием степени сплайна на его устойчивость и проявляется на участках кривой спектрального локуса, где исходные (таблично заданные) узловые точки координат цветности могли бы быть соединены практически прямой линией.

В настоящей работе предложен метод интерполяции линии спектральных цветностей как некоторой траектории, которую описывает точка с координатами цветности на

$XU$ -плоскости при дискретном изменении длины волны  $\lambda[i]$  от 380 до 780 нм. Для интерполяции используются квадратичные и кубические кривые Безье [9], совмещенные друг с другом в узлах интерполяции, образующие в совокупности сплайн Безье.

Интерполирующая функция, используемая для представления формы спектрального локуса на участке, соответствующем длинам волн от  $\lambda[i]$  до  $\lambda[i+1]$ , на базе квадратичной кривой Безье, имеет вид:

$$\begin{cases} x(\lambda) = t_2^2(\lambda)x[i] + 2t_1(\lambda)t_2(\lambda)x_Q[i] + t_1^2(\lambda)x[i+1]; \\ y(\lambda) = t_2^2(\lambda)y[i] + 2t_1(\lambda)t_2(\lambda)y_Q[i] + t_1^2(\lambda)y[i+1], \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_Q[i], y_Q[i], x_{P_1}[i], y_{P_1}[i], x_{P_2}[i], y_{P_2}[i]$  — координаты управляющих точек  $Q[i], P_1[i]$  и  $P_2[i]$  на  $XU$ -плоскости, определяющих свойства интерполирующей функции на каждом интервале;

$$t_1(\lambda) = \frac{\lambda - \lambda[i]}{\lambda[i+1] - \lambda[i]}; \quad t_2(\lambda) = 1 - t_1(\lambda) = \frac{\lambda[i+1] - \lambda}{\lambda[i+1] - \lambda[i]};$$

на базе кубической кривой Безье, имеет вид:

$$\begin{cases} x(\lambda) = t_2^3(\lambda)x[i] + 3t_1(\lambda)t_2^2(\lambda)x_{P_1}[i] + 3t_1^2(\lambda)t_2(\lambda)x_{P_2}[i] + t_1^3(\lambda)x[i+1]; \\ y(\lambda) = t_2^3(\lambda)y[i] + 3t_1(\lambda)t_2^2(\lambda)y_{P_1}[i] + 3t_1^2(\lambda)t_2(\lambda)y_{P_2}[i] + t_1^3(\lambda)y[i+1]. \end{cases} \quad (2)$$

Расчет координат управляющих точек  $Q[i], P_1[i]$  и  $P_2[i]$  предполагает предварительное вычисление в каждой узловой точке  $(x[i], y[i])$  угла наклона линии, касательной к искомой интерполирующей кривой, по формуле:

$$\alpha[i] = \text{angle}(x[i+1] - x[i-1], y[i+1] - y[i-1]), \quad i = 1, 2, \dots, N_\lambda - 2, \quad (3)$$

где функция  $\text{angle}(x, y)$  вычисляет значение угла (в радианах) направляющего вектора, начинающегося в начале системы координат  $XU$ -плоскости и заканчивающегося в точке с координатами  $(x, y)$ ,  $\alpha[i] \in [0, 2\pi)$ . На  $i$ -м интервале интерполяции касательная линия КН с углом наклона  $\alpha[i]$  к оси абсцисс проводится через точку  $(x[i], y[i])$  начала интервала интерполяции, касательная линия КК с углом наклона  $\alpha[i+1]$  к оси абсцисс проводится через точку  $(x[i+1], y[i+1])$  конца интервала интерполяции (на рис. 2 линии КН и КК приведены штрихпунктиром).

На рис. 2 на примере двух участков графика спектрального локуса проиллюстрирован принцип выбора типа кривой Безье: *a* — квадратичная кривая, *б* — кубическая для интерполяции спектрального локуса на  $i$ -м участке (МКО 1931 г.).

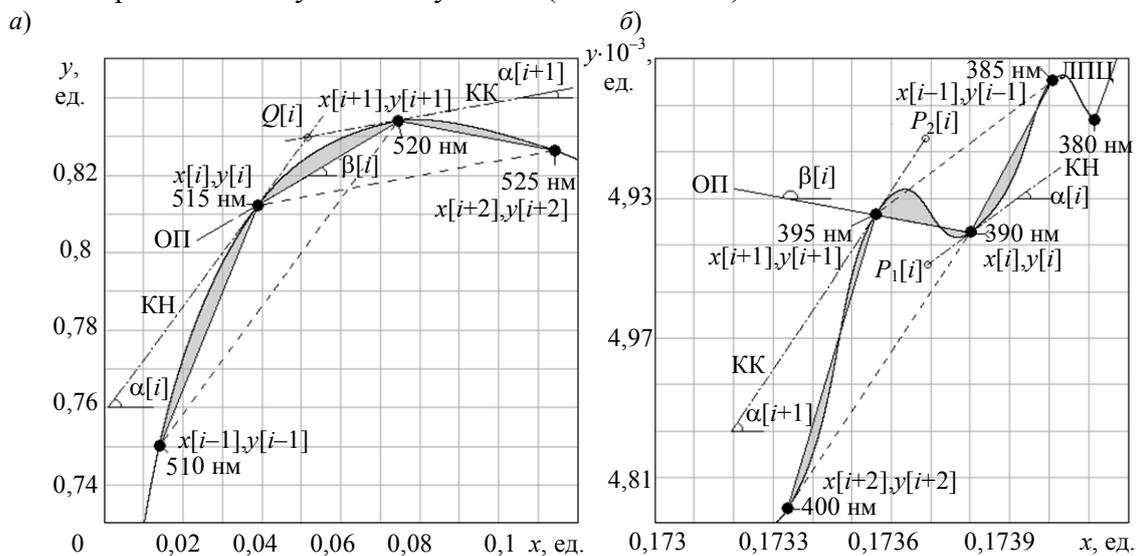


Рис. 2

Узловой точке  $(x[i], y[i])$  на рис. 2, а, через которую проведена касательная линия КН, соответствует длина волны  $\lambda[i]=515$  нм. Линия КН параллельна линии (пунктир), соединяющей точки  $(x[i-1], y[i-1])$  для  $\lambda[i-1]=510$  нм и  $(x[i+1], y[i+1])$  для  $\lambda[i+1]=520$  нм. Линия КК, касающаяся цветового локуса в точке  $(x[i+1], y[i+1])$  для  $\lambda[i+1]=520$  нм, параллельна линии (пунктир), соединяющей точки  $(x[i], y[i])$  для  $\lambda[i]=515$  нм и  $(x[i+2], y[i+2])$  для  $\lambda[i+2]=525$  нм.

Узловой точке  $(x[i], y[i])$  на рис. 2, б, через которую проведена КН, соответствует  $\lambda[i]=390$  нм; КН параллельна линии (пунктир), соединяющей точки  $(x[i-1], y[i-1])$  для  $\lambda[i-1]=385$  нм и  $(x[i+1], y[i+1])$  для  $\lambda[i+1]=395$  нм. Линия КК, касающаяся цветового локуса в точке  $(x[i+1], y[i+1])$  для  $\lambda[i+1]=395$  нм, параллельна линии (пунктир), соединяющей точки  $(x[i], y[i])$  для  $\lambda[i]=390$  нм и  $(x[i+2], y[i+2])$  для  $\lambda[i]=400$  нм.

Для выбора типа кривой Безье также вычисляется угол наклона опорной прямой (ОП) между узловыми точками  $\{x[i], y[i]\}$  и  $\{x[i+1], y[i+1]\}$ :

$$\beta[i] = \text{angle}(x[i+1] - x[i], y[i+1] - y[i]), i = 0, 1, \dots, N_\lambda - 2. \quad (4)$$

Для крайних узловых точек спектрального локуса в выражениях (3), (4) фиксируются граничные условия:

$$\alpha[0] = \beta[0], \alpha[N_\lambda - 1] = \beta[N_\lambda - 2].$$

Таким образом, на каждом  $i$ -м интервале интерполяции, соответствующем длине волны  $\lambda[i]$ , задаются три параметра, каждый из которых может изменяться в пределах от 0 до  $2\pi$ :

- угол  $\alpha[i]$  наклона касательной линии КН к искомой кривой в начале интервала;
- угол  $\beta[i]$  наклона прямой ОП между узловыми точками  $\{x[i], y[i]\}$  и  $\{x[i+1], y[i+1]\}$ ;
- угол  $\alpha[i+1]$  наклона касательной линии КК к искомой кривой в конце интервала.

Взаимные соотношения между параметрами  $\alpha[i]$ ,  $\beta[i]$ ,  $\alpha[i+1]$  определяют выбор вида кривой Безье для интерполяции участка кривой на данном интервале:

- квадратичная кривая Безье с одной управляющей точкой  $Q[i]$ ;
- кубическая кривая Безье с двумя управляющими точками  $P_1[i]$  и  $P_2[i]$ .

Управляющая точка  $P_1[i]$  лежит на касательной линии КН на расстоянии  $L_1[i]$  от узловой точки с координатами  $(x[i], y[i])$  при движении вдоль линии КН в направлении соответствующего ей направляющего вектора;  $P_2[i]$  лежит на КК на расстоянии  $L_2[i]$  от точки  $(x[i+1], y[i+1])$  при движении вдоль линии КК против направления соответствующего ей направляющего вектора. Управляющие точки на рис. 2 отмечены „о“, узловые точки — „●“.

Координаты управляющих точек  $P_1[i]$  и  $P_2[i]$ , используемых для интерполяции формы спектрального локуса кубической кривой (2), вычисляются по формулам:

$$x_{P_1}[i] = x[i] + L_1[i] \cos(\alpha[i]), \quad y_{P_1}[i] = y[i] + L_1[i] \sin(\alpha[i]), \quad (5)$$

$$x_{P_2}[i] = x[i+1] - L_2[i] \cos(\alpha[i+1]), \quad y_{P_2}[i] = y[i+1] - L_2[i] \sin(\alpha[i+1]). \quad (6)$$

Расположенные по разные стороны от ОП управляющие точки  $P_1[i]$  и  $P_2[i]$  фиксируются в указанных положениях (5), (6), и на данном интервале строится кубическая кривая Безье с выбранным шагом интерполяции  $\Delta\lambda$ .

Если точки  $P_1[i]$  и  $P_2[i]$  окажутся по одну сторону (обе сверху, обе снизу, обе слева или обе справа) от ОП, то строить кубическую кривую Безье на данном интервале интерполяции нецелесообразно. В этом случае задается одна управляющая точка  $Q[i]$ , соответствующая точке пересечения касательных линий КН и КК, и строится квадратичная кривая Безье. Выбор вида кривой Безье (квадратичной, кубической), используемой для интерполяции линии спек-

тральных цветностей на каждом  $i$ -м интервале, осуществляется на основе решающей функции  $n[i]$ , которая представляет собой формализованное описание процедуры принятия решения.

Координаты управляющей точки  $Q[i]$ , используемой для интерполяции формы спектрального локуса квадратичной кривой (2), вычисляются по формулам:

$$x_Q[i] = \begin{cases} \frac{b[i+1]-b[i]}{\operatorname{tg}(\alpha[i])-\operatorname{tg}(\alpha[i+1])}, \operatorname{tg}(\alpha[i]) \neq \operatorname{tg}(\alpha[i+1]); \\ (x[i]+x[i+1])/2, \operatorname{tg}(\alpha[i]) = \operatorname{tg}(\alpha[i+1]), \end{cases} \quad (7)$$

$$y_Q[i] = \operatorname{tg}(\alpha[i])x_Q[i] + b[i], \quad b[i] = y[i] - \operatorname{tg}(\alpha[i])x[i]. \quad (8)$$

Расположение управляющих точек (5), (6) и (7), (8) на касательных линиях КН и КК определяет совмещение кривых Безье в узловых точках так, чтобы обеспечивалась непрерывность первой производной интерполирующей функции.

Решающая функция  $n[i]$ , обеспечивающая выбор в пользу квадратичной (2) или кубической (3) интерполированной кривой на  $i$ -м интервале интерполяции, имеет вид:

$$n[i] = \left( \operatorname{tg}(\beta[i])(x_{P_1}[i] - x[i]) + y[i] - y_{P_1}[i]) \times \right. \\ \left. \times \left( \operatorname{tg}(\beta[i])(x_{P_2}[i] - x[i]) + y[i] - y_{P_2}[i]) \right). \quad (9)$$

При  $n[i] > 0$  выбирается квадратичная кривая, при  $n[i] \leq 0$  — кубическая. Правило выбора (9) обусловлено поведением интерполированной функции, при котором на  $i$ -м участке обеспечивается минимальная „колебательность“ формы кривой.

В итоге система интерполирующих функций, определяющая форму спектрального локуса на  $XY$ -плоскости, имеет вид:

$$\begin{cases} x(\lambda) = \begin{cases} t_2^2(\lambda)x[i] + 2t_1(\lambda)t_2(\lambda)x_Q[i] + t_1^2(\lambda)x[i+1], n[i] > 0; \\ t_2^3(\lambda)x[i] + 3t_1(\lambda)t_2^2(\lambda)x_{P_1}[i] + 3t_1^2(\lambda)t_2(\lambda)x_{P_2}[i] + t_1^3(\lambda)x[i+1], n[i] \leq 0, \end{cases} \\ y(\lambda) = \begin{cases} t_2^2(\lambda)y[i] + 2t_1(\lambda)t_2(\lambda)y_Q[i] + t_1^2(\lambda)y[i+1], n[i] > 0; \\ t_2^3(\lambda)y[i] + 3t_1(\lambda)t_2^2(\lambda)y_{P_1}[i] + 3t_1^2(\lambda)t_2(\lambda)y_{P_2}[i] + t_1^3(\lambda)y[i+1], n[i] \leq 0, \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

$$i=0, 1, \dots, N_\lambda-2.$$

От расстояний  $L_1[i]$  и  $L_2[i]$  зависит форма кривой интерполирующей функции на интервалах, где формируется кубическая кривая Безье. Для решения задачи интерполяции линии спектральных цветностей в предлагаемом методе используются выражения:

$$L_1[i] = \frac{L[i-1]L[i]}{L[i-1]+L[i+1]}, \quad L_2[i] = \frac{L[i+1]L[i]}{L[i-1]+L[i+1]}.$$

Величина  $L[i]$  представляет собой евклидово расстояние между точками  $(x[i], y[i])$  и  $(x[i+1], y[i+1])$  на  $XY$ -плоскости. Для начального и конечного интервалов интерполяции спектрального локуса используются следующие расстояния:

$$L_1[0] = L_2[0] = L[0]/2, \quad L_1[N_\lambda - 2] = L_2[N_\lambda - 2] = L[N_\lambda - 2]/2.$$

На рис. 2 узловые точки соединены прямыми сплошными линиями, позволяющими наглядно оценить эффективность предложенного метода интерполяции по сравнению с методом линейной интерполяции.

Качественную оценку результатов интерполяции для различных способов конструирования кривой, интерполирующей форму спектрального локуса, можно получить, проанализировав графики функций в увеличенном масштабе отображения.

На рис. 3 представлены результаты интерполяции спектрального локуса (МКО 1931 г.): *а* — в диапазоне 380—420 нм, *б* — 510—525 нм (пунктир — интерполяция в пространстве координат цвета, штрихпунктир — в пространстве координат цветности, сплошная кривая — интерполяция сплайнами Безье).

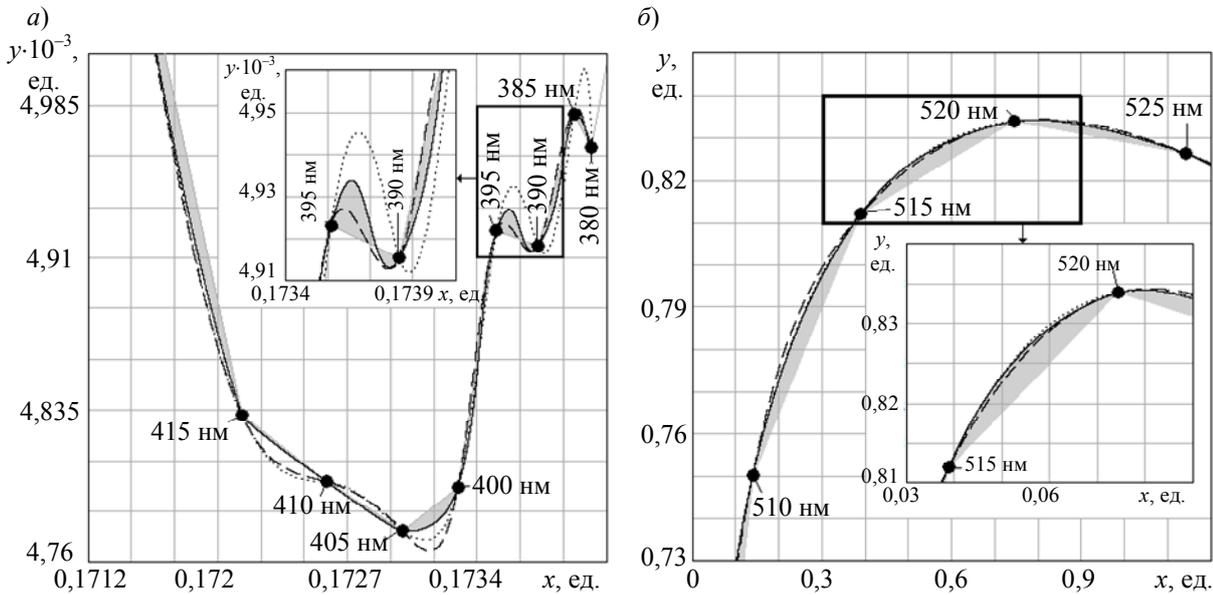


Рис. 3

Наибольший интерес представляет анализ спектральных интервалов, где расположение таблично заданных в нормативной документации узловых точек спектрального локуса соответствует участкам с максимальной кривизной функции:

- на начальном участке в спектральном диапазоне 380—420 нм;
- на участке, соответствующем длинам волн 515—525 нм.

Анализ рис. 3 показывает, что применение методов сплайн-интерполяции в пространстве координат цвета (способ 1) и координат цветности (способ 2) приводит к выраженной „колебательности“ формы интерполирующей функции на начальном участке 380—415 нм спектрального диапазона видимых длин волн. Такое свойство интерполирующей функции затрудняет решение задачи интерполяции формы спектрального локуса. Для спектрального интервала 515—525 нм, где изменения кривизны формы спектрального локуса существенно меньше, способ 1 и способ 2 обеспечивают приемлемое для практики качество интерполяции.

Количественную оценку точности интерполяции можно получить путем анализа отклонений  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  полученных кривых от таблично установленных значений  $(x, y)$  спектрального локуса в точках, заданных вне шага  $\Delta\lambda=5$  нм и априори не использованных в способах интерполяции. В частности, в ГОСТ 23198-94 приведены четыре таких „контрольных“ точки: на длинах волн 436, 546, 578 и 589 нм.

Результаты интерполяции, полученные численными методами по способам 1—3 при выборе шага интерполяции  $\Delta\lambda=0,0002$  нм, т.е. когда между каждой парой узловых точек рассчитывалось по 25 000 точек координат цветности интерполирующей функции, приведены в таблице. Величина  $d$  рассчитана и приведена как евклидово расстояние  $d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ .

Нетрудно видеть, что все рассмотренные способы интерполяции обеспечивают соизмеримые характеристики точности представления спектрального локуса и в этом смысле одинаково пригодны для решения задачи интерполяции линии спектральных цветностей. Тем не менее, следует отметить лучшую точность интерполяции для способа 3, основанного на сплайнах Безье, в точке, соответствующей длине волны 436 нм, где проявляется существенная кривизна исходной формы спектрального локуса, что особенно важно, поскольку одна из вершин треугольника цветового охвата максимальной площади оказывается в окрестности от этого значения.

**Количественные оценки отклонений значений интерполирующей функции от таблично заданных значений координат цветности спектрального локуса**

Способ интерполяции	Параметр	Длина волны в контрольной точке, нм			
		436	546	578	589
Табличные данные	$x$	0,1664468788	0,2729572515	0,4991508363	0,5692571629
	$y$	0,0089607742	0,7180626962	0,4998872841	0,4301020072
1 (по координатам цвета)	$\Delta x$	$3,163 \cdot 10^{-7}$	$3,427 \cdot 10^{-6}$	$8,306 \cdot 10^{-7}$	$8,591 \cdot 10^{-7}$
	$\Delta y$	$3,911 \cdot 10^{-7}$	$5,168 \cdot 10^{-6}$	$1,852 \cdot 10^{-7}$	$7,466 \cdot 10^{-8}$
	$d$	$5,030 \cdot 10^{-7}$	$6,201 \cdot 10^{-6}$	$8,510 \cdot 10^{-7}$	$8,654 \cdot 10^{-7}$
2 (по координатам цветности)	$\Delta x$	$2,125 \cdot 10^{-6}$	$2,307 \cdot 10^{-7}$	$2,937 \cdot 10^{-7}$	$6,875 \cdot 10^{-7}$
	$\Delta y$	$2,287 \cdot 10^{-6}$	$2,254 \cdot 10^{-8}$	$6,960 \cdot 10^{-7}$	$1,255 \cdot 10^{-6}$
	$d$	$3,122 \cdot 10^{-6}$	$2,316 \cdot 10^{-7}$	$7,554 \cdot 10^{-7}$	$1,431 \cdot 10^{-6}$
3 (по кривой локуса сплайном Безье)	$\Delta x$	$1,538 \cdot 10^{-6}$	$9,057 \cdot 10^{-8}$	$5,575 \cdot 10^{-7}$	$1,292 \cdot 10^{-7}$
	$\Delta y$	$1,639 \cdot 10^{-6}$	$5,311 \cdot 10^{-7}$	$2,076 \cdot 10^{-7}$	$7,331 \cdot 10^{-7}$
	$d$	$2,248 \cdot 10^{-6}$	$5,388 \cdot 10^{-7}$	$5,949 \cdot 10^{-7}$	$7,444 \cdot 10^{-7}$

**Заключение.** В результате интерполяции спектрального локуса получена система (10) интерполирующих функций, определяющих в аналитической форме зависимость  $(x,y)$ -координат цветности монохроматических цветов от длины волны  $\lambda$  в видимом диапазоне 380—780 нм.

Решение задачи интерполяции спектрального локуса имеет важное практическое значение для повышения точности колориметрических расчетов световых величин при различном спектральном составе воспринимаемого излучения. В частности, аналитическая форма представления линии спектральных цветностей позволяет повысить точность оценки значения доминирующей длины волны светового излучения, определяющей цветовой тон, повысить точность оценки значения насыщенности излучаемого цвета и пр.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Исследование распределения оценки разрешающей способности преобразования Грассмана в системах кодирования цвета, применяемых в авионике // Программная инженерия. 2014. № 8. С. 40—47.
2. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Исследование свойства равноконтрастности цветовых пространств, применяемых в авионике // Программная инженерия. 2014. № 11. С. 35—43.
3. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Оценка инструментальной погрешности косвенного измерения координат цвета в цветовой модели данных, применяемой в авионике // Программная инженерия. 2014. № 12. С. 39—46.
4. Gatchin Y. A., Zharinov I. O., Korobeynikov A. G., Zharinov O. O. Theoretical estimation of Grassmann's transformation resolution in avionics color coding systems // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9, N 5. P. 197—210.
5. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Оценка параметров математической модели цветопередачи жидкокристаллической панели // Информационно-управляющие системы. 2015. № 2. С. 49—56.
6. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Метод программной компенсации технологического разброса координат цветности жидкокристаллических панелей // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15, № 3. С. 387—397.
7. Жаринов И. О., Жаринов О. О. Теоретическая оценка функции плотности вероятности распределения координат цвета в системах бортовой индикации // Программная инженерия. 2015. № 3. С. 35—43.
8. Костишин М. О., Жаринов И. О., Жаринов О. О. Исследование визуальных характеристик средств отображения пилотажно-навигационных параметров и геоинформационных данных в авионике // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4. С. 61—67.
9. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. 604 с.

**Сведения об авторах**

- Игорь Олегович Жаринов** — д-р техн. наук, доцент; Университет ИТМО; Санкт-Петербургское ОКБ „Электроавтоматика“ имени П. А. Ефимова; руководитель учебно-научного центра; E-mail: igor\_rabota@pisem.net
- Олег Олегович Жаринов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; E-mail: zharinov73@hotmail.ru

Рекомендована  
ОКБ „Электроавтоматика“

Поступила в редакцию  
27.06.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Жаринов И. О., Жаринов О. О. Интерполяция линии спектральных цветностей цветового локуса на основе сплайнов Безье // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 12. С. 985—992.

**INTERPOLATING THE COLOR SPECTRUM LOCUS LINE ON THE BASE OF BEZIER SPLINES**

I. O. Zharinov<sup>1</sup>, O. O. Zharinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia  
P. A. Efimov Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”, 198095, St. Petersburg, Russia  
E-mail: igor\_rabota@pisem.net

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 190000, St. Petersburg, Russia

Three approaches to the problem of interpolation of color spectrum locus line specified in tabulated form are considered: the first is based on interpolation in the space of color coordinates, the second uses interpolation in the space of chromaticity coordinates, and the third one utilizes interpolation of the spectral locus as some tabular curve having its specific shape. Mathematical relations describing the behavior of spectral gamut in the visible wavelengths range are derived.

**Keywords:** colorimetric standard, spectrum locus, chromaticity coordinates, interpolation, Bezier curve.

**Data on authors**

- Igor O. Zharinov** — Dr. Sci., Associate Professor; ITMO University; P. A. Efimov Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”, Chef of Learning-Scientific Center; E-mail: igor\_rabota@pisem.net
- Oleg O. Zharinov** — PhD, Associate Professor; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; E-mail: zharinov73@hotmail.ru

**For citation:** Zharinov I. O., Zharinov O. O. Interpolating the color spectrum locus line on the base of Bezier splines // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 12. P. 985—992 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-12-985-992