

УДК 535.65: 621.397

ЦВЕТОВЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В ТЕЛЕВИЗИОННОМ ТРАКТЕ «ОТ СВЕТА ДО СВЕТА»

Ложкин Л.Д., Солдатов А.А.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара,
e-mail: leon.lozhkin@yandex.ru*

В статье приведены результаты математического анализа цветовых искажений телевизионного тракта «от света до света». Показаны цветовые искажения в телевидении, величина которых в большей степени зависят от типа телевизионного экрана, разновидность которых в настоящее время имеет некоторый диапазон. В статье рассмотрены следующие типы телевизионных экранов: трехлучевой цветной кинескоп, жидкокристаллический экран с тремя видами подсветки: люминесцентная лампа, белые светодиоды и полноцветные светодиоды, а также плазменные панели.

Ключевые слова: телевизионный экран, опорный белый, цветовой охват, система МКО

COLOR DISTORTION IN THE TV PATH «FROM LIGHT TO LIGHT»

Lozhkin L.D., Soldatov A.A.

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, e-mail: leon.lozhkin@yandex.ru

The results of the mathematical analysis of color television is-path distortions «from light to light». Showing color distortion in the TV, the size of which largely depend on the type of television screen, a species which currently has some range. The article describes the following types of television screens: three-beam color picture tube, liquid crystal display with three types of lighting: lyuminentsvetnaya lamp, white LED, and full-color LED and plasma panels.

Keywords: television screen, a reference white color gamut system ICE

В наше время невозможно представить жизнь человека, который бы не пользовался услугами цветного телевидения (ЦТ). В связи с этим все большее значение приобретают вопросы качества передачи ТВ изображений телецентрами. В [1, 2, 3] показаны интегральные оценки качества воспроизведения изображения в цветном телевидении. Как известно, датчиками сигналов цветных ТВ изображений (кроме специальных измерительных генераторов) являются студийные (и внестудийные) камеры. К настоящему времени преимущественно все цветные телекамеры построены на ПЗС. Одной из важнейших характеристик этих датчиков являются сквозные спектральные характеристики, которые можно описать следующим образом:

$$\delta_i(\lambda) = \sum_{j=R,G,B,Y} c_{ij} \cdot \tau_j(\lambda) \cdot \xi_j(\lambda), \quad (1)$$

где c_{ij} – элементы матрицы цветокоррекции; $\tau_j(\lambda)$ – спектральные характеристики пропускания оптических узлов датчика; $\xi_j(\lambda)$ – спектральные характеристики чувствительности фотопреобразователя датчика.

Измерение спектральных сквозных характеристик датчиков ЦТ сигналов телецентра необходимо для того, чтобы установить отличие этих характеристик от заданных по [4], определить вариации их во время работы фотопреобразователя датчика и в зависимости от изменений режимов работы

получить исходные данные для расчетов по определению верности передачи и воспроизведения цвета в системе ЦТ. Последнее особенно полезно для сравнения с результатами непосредственного объективного колориметрирования цветного образца в студии и его изображения на экране монитора телецентра или на экране телеприемника у зрителя.

Сигналы на выходе датчика ЦТ можно представить как:

$$U_i = K_i \int_{380}^{780} E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \delta_i(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где K_i – коэффициент передачи цветного канала датчика; $E(\lambda)$ – спектральное распределение энергии источника освещения; $\rho(\lambda)$ – спектральная характеристика отражения объекта.

Измерение сигналов на выходе ЦТ датчика в зависимости от длины волны света дает сквозную спектральную характеристику датчика с точностью до поправочного коэффициента.

Этот поправочный коэффициент будет равен обратной величине произведения $E(\lambda) \cdot \rho(\lambda)$:

$$\delta_i(\lambda) = \frac{1}{K_i} \cdot \rho(\lambda) \cdot U_i(\lambda), \quad (3)$$

где $\delta_i(\lambda)$ – поправочный коэффициент.

Известны некоторые методики измерения сквозных спектральных характеристик датчиков ЦТ [7].

При выборе методики и аппаратуры измерений сквозных характеристик необходимо иметь ввиду, что они должны быть определены без введения каких либо дополнительных изменений в существующую аппаратуру телецентра, а также без ее разуконплектования. В [2, 5] приведены несколько методик и результатов измерения.

Некоторые замечания следует сделать по поводу спектральных характеристик, определенных [4]. Эти характеристики в ГОСТе заданы не в явном виде (таблицы, графики), а в косвенном, и подразумевается расчет таких характеристик по некоторым формулам по исходным данным, указанным в [4]. Формулы не указаны в ГОСТе, но имеются в технической литературе по цветному ТВ [8, 9]. Они ведут свое начало от работ по цветному воспроизведению, фотографии и кинематографии, опубликованных в 1937 г. [10] и повторенных применительно к ТВ в 1953 г. [9]. Формулы выведены по идеализированной математической модели системы ЦТ «от света до света» и устанавливают строгую «колориметричность» спектральных характеристик ЦТ датчика:

$$\begin{bmatrix} \delta_R(\lambda) \\ \delta_G(\lambda) \\ \delta_B(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{x}(\lambda) \\ \bar{y}(\lambda) \\ \bar{z}(\lambda) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ – кривые сложения МКО 1931 г. (x, y),

$a_1 \dots a_9$ – коэффициенты, являющиеся алгебраическими функциями координат цветности треугольника основных цветов эталонного экрана монитора и опорного белого цвета.

Физический смысл характеристик (4) состоит в том, что их ординаты для каждой длины волны света указывают количества, в которых нужно смешать первичные цвета эталонного экрана монитора, чтобы получить цвет передаваемого объекта, который предполагается в виде монохроматического источника на той же длине волны. Как показывают расчеты, проведенные по (4), на характеристиках нет ни одной длины волны, где не было бы ординат с отрицательными значениями каких-либо кривых $\delta_i(\lambda)$. Это и понятно: нельзя получить насыщенный цвет монохроматического источника, смешивая световые потоки широкополосных излучателей (основных цветов экрана монитора). В подобном случае в классических визуальных колориметрах необходимо «разбавлять» монохроматическое излучение одним из широкополосных.

Понятно, что никакие реальные ЦТ датчики не могут реализовать спектральные характеристики (4), в первых, из-за наличия отрицательных участков, а во-вторых, из-за вариаций формы сквозных спектральных характеристик. Следует отметить, что характеристики (4) предполагают наличие одного и того же опорного белого цвета на приемной и передающей сторонах. Практически камеры настраивают на «студийный» или «внестудийный» опорный белый цвет. В тоже время цветные видеоконтрольные устройства (или телеприемник) настраивают на эталонный опорный белый цвет (например, D6500).

К неравенству опорного белого цвета приводит также процесс расстройки ЦТ камер, когда регулируются уровни черного и коэффициенты передачи цветовых каналов, а на приемной стороне – уровень яркости и контрастности.

Наиболее распространенной математической моделью для оценки цветовых искажений является матрица перехода от сигналов датчика (2) к цветовым координатам МКО 1960, в которой и происходит оценка цветовых искажений. Эта матрица имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 \\ b_4 & b_5 & b_6 \\ b_7 & b_8 & b_9 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Однако при расчетах лучше задаваться не сигналами ЦТ датчика (2), а их отношениями. В связи с этим более удобна математическая модель, где можно сразу найти координаты цветности (в любой колориметрической системе) по отношению сигналов. Выразим (4) в координатах цветности u и v . После некоторых преобразований получим:

$$U = (U_R \alpha_0 \alpha + U_G + U_B \beta_0 \beta) / \xi, \quad (6)$$

$$V = (V_R \alpha_0 \alpha + V_G + V_B \beta_0 \beta) / \xi.$$

где

$$\xi = \alpha_0 \cdot \alpha + 1 + \beta_0 \cdot \beta,$$

$$U_R \cdot \alpha_0 = b_1 \cdot (b_2 + b_5 + b_8),$$

$$V_R \cdot \alpha_0 = b_4 \cdot (b_2 + b_5 + b_8),$$

и т.д.

Коэффициенты α_0, β_0 , и α, β определяют из следующих выражений:

$$\alpha_0 = (b_1 + b_4 + b_7) \cdot (b_2 + b_5 + b_8),$$

$$\beta_0 = (b_3 + b_6 + b_9) \cdot (b_2 + b_5 + b_8),$$

$$\alpha = U_R \cdot U_G, \beta = V_R \cdot V_G.$$

Для определения зависимостей коэффициентов $b_1 \dots b_9$, от координат цветности основных цветов экрана монитора и опорного белого цвета v_i, v_i, v_w, v_w можно воспользоваться выражением для α_0 и β_0 , приведенных в [7], тогда:

$$b_1 = (v_B - v_G) \cdot v_w,$$

$$b_2 = (v_R - v_B) \cdot v_w,$$

$$b_3 = (v_G - v_R) \cdot v_w,$$

$$b_4 = (v_G - v_B) \cdot v_w,$$

и т.д.

Программа разработана так, что после цветокоррекции телевизионной камеры производится балансировка под опорный белый цвет D6500, спектр которого приводится в литературе, например, [5]. После балансировки телевизионной камеры, выходные сигналы равны между собой, т.е. $E_R = E_G = E_B = 1$. При расчете с помощью этой программы использовалась некая идеальная телекамера, имеющая спектральные характеристики чувствительности равные кривым сложения цветов МКО 1931 г.

В программе также производилась балансировка телевизионного экрана. При этом при подачи видеосигналов $E_R = E_G = E_B = 1$, на экране должен воспроизведен белый цвет, с цветностью источника D6500, применяемого в соответствии с европейским стандартом (ЕС).

В программе предусмотрено менять указанный источник на любой другой стандартный источник, например А, С, Е и другие.

Балансировка экрана телеприемника под «опорный белый» в разработанной программе производилась в соответствии следующих формул:

$$\begin{bmatrix} K_R \\ K_G \\ K_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где $x_R, y_R, z_R, x_G, y_G, z_G, x_B, y_B, z_B$ – координаты цветности вершин треугольника цветового охвата (основных цветов) экрана;

x_0, y_0, z_0 – координаты цветности опорного «белого»;

K_R, K_G, K_B – коэффициенты передачи усилителей видеосигналов R, G и B телеприемника.

Очевидно, что спектр воспроизведенной цветности на экране телеприемника опорного «белого» (в нашем случае цвет-

ность источника D6500) не будет равен спектру стандартного источника который освещает телекамеру. В этом случае эти два излучения (передаваемый источник и его изображение на экране) являются метамерами и воспринимаются глазом как источники одинаковой цветности.

С помощью разработанной программы были рассчитаны ожидаемые цветовые искажения в системе «от света до света» при идеальной телевизионной камере со следующими экранами:

- жидкокристаллическая панель, с освещением белыми светодиодами;
- жидкокристаллическая панель, с освещением полноцветными светодиодами;
- жидкокристаллическая панель, с освещением люминесцентной лампы;
- прибор, использующий люминофоры;
- экран с максимальным цветовым охватом (лазерный).

На рис. 1, 3, 5, 7 и 9 приведены результаты расчетов, а на рис. 2, 4, 6, 8 и 10 приведены числовые значения.

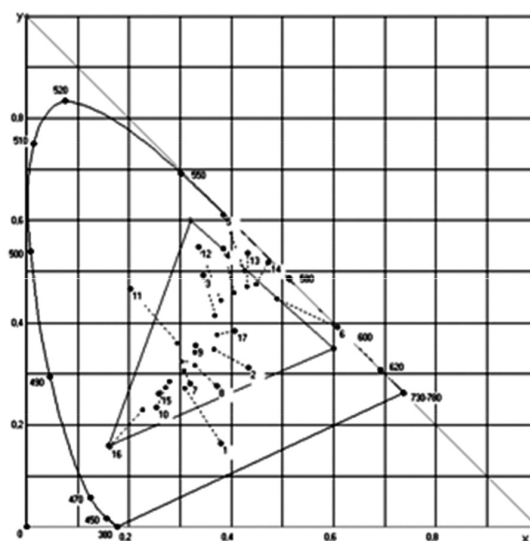


Рис. 1. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой белыми светодиодами

На этих рисунках результаты вычислений даны в более привычной системе МКО 1931 г. (x, y), но, тем не менее, разработанная программа позволяет производить расчеты и в равноконтрастной системе координат МКО 1960 г. (u, v). Переход от системы координат цветностей МКО 1931 г. к системе МКО 1960 г. производился по формулам, приведенными в [2, 4].

В обоих случаях расчетов в выходную таблицу результаты даются в двух системах

координат. Разработанная программа была зарегистрирована в ОФАП [11].

МК01931 X	МК01931 Y	Изображ X	Изображ Y	Длина вектора Цвет искаж в хц	Число порогов в пересч на и и v
0,607125	0,392362	0,489541	0,448132	0,1301392	22,83144
0,318829	0,281048	0,307076	0,306518	2,805114E-02	4,921253
0,371519	0,276643	0,329109	0,316815	0,0584154	10,24831
0,329794	0,356465	0,327939	0,342673	0,0139159	2,441386
0,253067	0,234638	0,271775	0,273793	0,0433947	7,613106
0,201899	0,466874	0,294641	0,361016	0,1407371	24,69071
0,336316	0,548569	0,379244	0,444363	0,1127011	19,77212
0,432027	0,535425	0,429829	0,471367	6,409616E-02	11,24494
0,472863	0,518007	0,448965	0,476146	4,820148E-02	8,456399
0,258616	0,262148	0,278822	0,285710	3,103972E-02	5,445565
0,161859	0,157433	0,226908	0,229535	9,710889E-02	17,03665
0,407045	0,384845	0,371968	0,377617	3,581347E-02	6,283065

Рис. 2. Таблица результатов расчетов цветовых искажений системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой белыми светодиодами

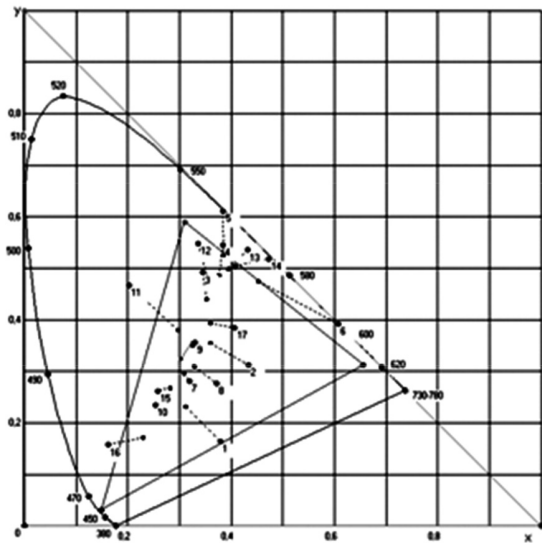


Рис. 5. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой люминесцентной лампой

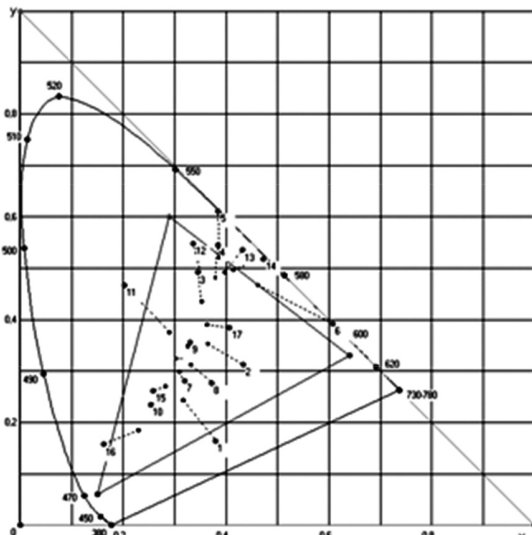


Рис. 3. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на экран, имеющий прибор с использованием люминофоров

МК01931 X	МК01931 Y	Изображ X	Изображ Y	Длина вектора Цвет искаж в хц	Число порогов в пересч на и и v
0,607125	0,392362	0,452518	0,475071	0,17534	30,7614
0,318829	0,281048	0,308341	0,296726	0,0188631	3,309316
0,371519	0,276643	0,328233	0,309530	5,436195E-02	9,537184
0,329794	0,356465	0,325290	0,350265	7,663438E-03	1,344463
0,253067	0,234638	0,275753	0,246816	2,574873E-02	4,517322
0,201899	0,466874	0,296914	0,379756	0,128908	22,61544
0,336316	0,548569	0,357978	0,471888	7,968218E-02	13,97933
0,432027	0,535425	0,394033	0,498933	5,268028E-02	9,242154
0,472863	0,518007	0,408745	0,503898	6,565119E-02	11,51775
0,258616	0,262148	0,282633	0,266902	2,448323E-02	4,295303
0,161859	0,157433	0,229800	0,171594	6,957752E-02	12,20658
0,407045	0,384845	0,360628	0,394211	4,735272E-02	8,307495

Рис. 6. Таблица результатов расчетов цветовых искажений системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой люминесцентной лампой

МК01931 X	МК01931 Y	Изображ X	Изображ Y	Длина вектора Цвет искаж в хц	Число порогов в пересч на и и v
0,607125	0,392362	0,461758	0,467092	0,1634505	28,67552
0,318829	0,281048	0,309281	0,299167	2,048151E-02	3,593247
0,371519	0,276643	0,330956	0,311796	5,367497E-02	9,416661
0,329794	0,356465	0,325390	0,348581	9,030767E-03	1,584345
0,253067	0,234638	0,275558	0,252872	0,0289537	5,079596
0,201899	0,466874	0,290180	0,379556	0,1270132	22,28302
0,336316	0,548569	0,357082	0,466774	8,438984E-02	14,80523
0,432027	0,535425	0,397738	0,492978	0,0545661	9,573001
0,472863	0,518007	0,414225	0,497347	6,217114E-02	10,90722
0,258616	0,262148	0,281930	0,270941	2,491711E-02	4,371423
0,161859	0,157433	0,229183	0,184282	7,248049E-02	12,71588
0,407045	0,384845	0,363329	0,390591	0,044092	7,735438

Рис. 4. Таблица результатов расчетов цветовых искажений системы ЦТВ при приеме на экран, имеющий прибор с использованием люминофоров

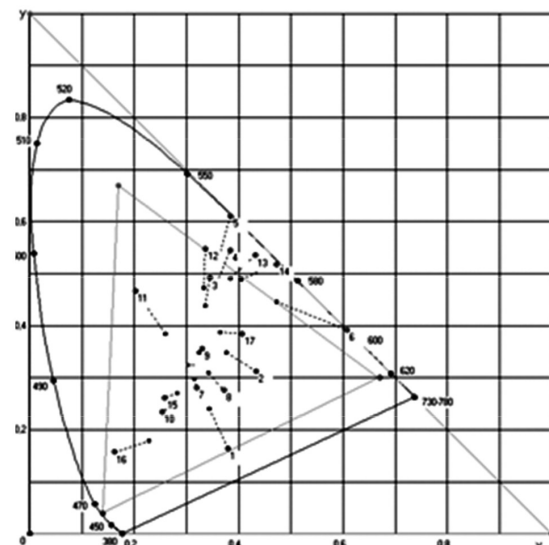


Рис. 7. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой полноцветными светодиодами

МК01931 X	МК01931 Y	Изображ X	Изображ Y	Длина вектора Цвет искаж в жх	Число порогов в пересч на и и v
0,607125	0,392362	0,472274	0,445975	0,1451179	25,45928
0,318829	0,281048	0,314990	0,298145	1,752352E-02	3,074302
0,371519	0,276643	0,342672	0,309262	4,354446E-02	7,63938
0,329794	0,356465	0,323271	0,348798	1,006714E-02	1,766165
0,253067	0,234638	0,278874	0,251597	3,088083E-02	5,417689
0,201899	0,466874	0,259445	0,384811	0,1002288	17,58399
0,336316	0,548569	0,333117	0,472785	7,585091E-02	13,30718
0,432027	0,535425	0,383589	0,490259	6,622867E-02	11,61907
0,472863	0,518007	0,404788	0,490168	7,354696E-02	12,90298
0,258616	0,262148	0,282676	0,270384	2,543134E-02	4,461638
0,161859	0,157433	0,228698	0,179402	7,035673E-02	12,34329
0,407045	0,384845	0,365148	0,387398	4,197508E-02	7,364049

Рис. 8. Таблица результатов расчетов цветковых искажений системы ЦТВ при приеме на LCD экран с подцветкой полноцветными светодиодами

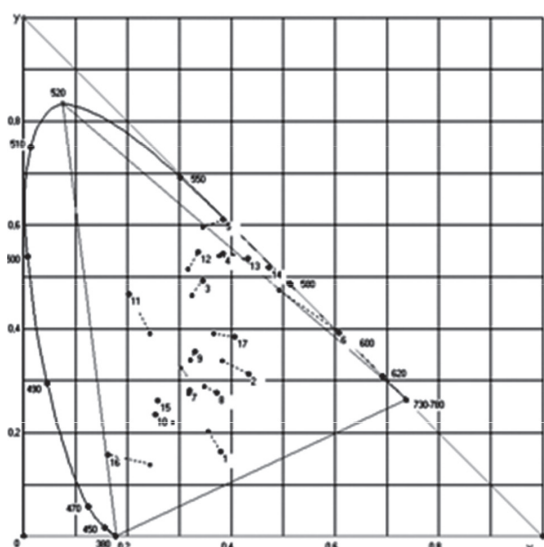


Рис. 9. Искажения цветопередачи системы ЦТВ при приеме на экране с максимальным цветовых охватом

Рассмотрим влияние величины площади треугольника цветового охвата телевизионного экрана значения цветковых искажений. На цветовых диаграммах (рис. 1, 3, 5, 7, 9) приведены значения площади треугольника цветового охвата (треугольник основных цветов) и значения средней ошибки цветовоспроизведения, выраженной в количестве порогов Мак-Адама. Сведем эти данные в таблицу.

На рис. 11 изображена зависимость величины цветковых искажений от площади

треугольника цветового охвата телевизионного экрана. Эта зависимость весьма очевидна и подтверждает интуитивную зависимость значений цветковых искажений от величины площади цветового охвата цветового треугольника экрана телеприемника.

МК01931 X	МК01931 Y	Изображ X	Изображ Y	Длина вектора Цвет искаж в жх	Число порогов в пересч на и и v
0,607125	0,392362	0,491661	0,473852	0,1413239	24,79367
0,318829	0,281048	0,318378	0,275181	5,884353E-03	1,032343
0,371519	0,276643	0,348035	0,288194	2,617105E-02	4,591413
0,329794	0,356465	0,321468	0,340085	0,0183742	3,223544
0,253067	0,234638	0,284921	0,219729	3,517146E-02	6,170432
0,201899	0,466874	0,243739	0,389785	8,771092E-02	15,38788
0,336316	0,548569	0,317082	0,514386	3,922284E-02	6,8812
0,432027	0,535425	0,377158	0,541125	5,516448E-02	9,677979
0,472863	0,518007	0,403738	0,541107	7,288241E-02	12,78639
0,258616	0,262148	0,286497	0,242203	3,428136E-02	6,014273
0,161859	0,157433	0,242497	0,139181	8,267817E-02	14,50494
0,407045	0,384845	0,365565	0,391168	4,195954E-02	7,361322

Рис. 10. Таблица результатов расчетов цветковых искажений системы ЦТВ при приеме на экране с максимальным цветовых охватом

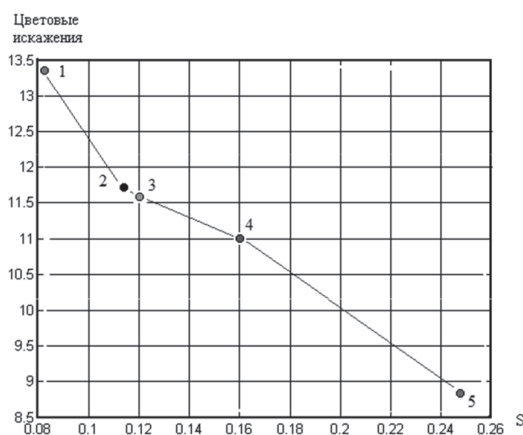


Рис. 11. Влияние площади треугольника цветового охвата телевизионного экрана на величину цветковых искажений. Номера точек соответствуют порядковым номерам таблицы

Как и следовало ожидать, при воспроизведении на экран, имеющий максимальный цветовой охват, средняя величина цветковых искажений имеет минимальную величину. И очевидна, эта минимальная величина (< 9 порогов Мак Адама) является ошибкой непосредственно технических средств телевизионной системы.

№ п/п	Тип экрана	Площадь	Цветовые искажения
1	ЖК с подцветкой белыми светодиодами	0,082	13,35
2	Экран с использованием люминофоров	0,113	11,73
3	ЖК с подцветкой люмененцветной лампы	0,119	11,61
4	ЖК с подцветкой полноцветными светодиодами	0,163	10,95
5	Экран с максимальным цветовым охватом	0,247	8.87

Список литературы

1. Ерганжиев Р.А. О допустимых искажений цвета в ЦТ [Текст] / Р.А. Ерганжиев // Техника кино и телевидения. – 1973. – № 3. – С. 39–40.
2. Ложкин Л.Д. Методы определения и оценки сквозных спектральных характеристик датчиков ЦТ [Текст] / Л.Д. Ложкин, Ч.Г. Постарнак, Г.А. Суворов, С.М. Шапиро // Техника кино и телевидения. – 1980. – № 6. – С. 45–49.
3. Ложкин Л.Д. Цветовые искажения в ТВ [Текст] / Л.Д. Ложкин // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – № 3. – С. 81–86.
4. Полосин Л.Л. Оценка качества воспроизведения цветных изображений по интегральной прозрачности // Научно-техническая конференция «Прикладная оптика – 96» Тезисы докладов. – Санкт-Петербург, 1996. – С. 314.
5. ГОСТ 19432 – 76. Телевидение цветное. Основные параметры системы цветного телевидения. – М., Госстандарт. – 1976.
6. Epstain D.W. Colorimetric analysis of RCA color television system [Text] / D.W. Epstain // – RCA Rev. – 1953, XIV. – № 2. – P. 227–258.
7. Нюберг Н.Д. Цветная кинематография. [Текст] / Н.Д. Нюберг // Пер. с нем. С.В. Немыцкого. – М.-Л., Госкиноиздат. – 1039. – С. 334.
8. Кривошеев М.И. Световые измерения в телевидении [Текст] / М.И. Кривошеев, А.К. Кустарев – М.: Связь, 1973. – С. 224
9. Ложкин Л.Д. Цветовые искажения в ТВ [Текст] / Л.Д. Ложкин // Инфокоммуникационные технологии. – 2008. – № 3. – С. 81–86.
10. Epstain D.W. Colorimetric analysis of RCA color television system [Text] / D.W. Epstain // – RCA Rev. – 1953, XIV. – № 2. – P. 227–258.
11. Ложкин Л.Д. Образовательный web-сайт по информационным технологиям: свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 12111 / Л.Д. Ложкин №; заявл. 11.01.2009; дата регистр. 2009. [Интернет ресурс].