

УДК 629.73.02; 629.73.05/.06; 535.643

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ КАБИНЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОСПРИНИМАЕМОГО НАБЛЮДАТЕЛЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ

И.О. Жаринов^а, О.О. Жаринов^б

^а ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация

^б Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация

Адрес для переписки: igor_rabota@pisem.net

Информация о статье

Поступила в редакцию 02.02.15, принята к печати 16.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-831-838

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Жаринов И.О., Жаринов О.О. Исследование влияния ночного освещения кабины летательного аппарата на колориметрические характеристики воспринимаемого наблюдателем изображения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 5. С. 831–838.

Аннотация

Предмет исследования. Исследовано влияние спектрального состава излучения от источника искусственного ночного освещения кабины летательного аппарата на колориметрические характеристики воспринимаемого наблюдателем изображения. Изображение отображается на жидкокристаллическом экране многофункционального цветного индикатора. Ночной подсвет кабины осуществляется лампами искусственного красного, зелено-голубого и, реже, белого света.

Метод. Один и тот же цвет, отображаемый на экране, воспринимается наблюдателем по-разному в условиях наличия и отсутствия внешней освещенности. При воздействии на экран источника внешней засветки белого цвета воспринимаемый наблюдателем цвет зависит от цветовой температуры источника, для произвольного источника освещения – от спектрального состава излучаемого света. Воспринимаемый наблюдателем цвет представляет собой совокупность отображаемого на экране цвета (цвета изображения) и цвета, образованного диффузным отражением от поверхности экрана света внешнего осветителя. Яркости обоих цветов складываются. Используемые математические выражения, определяющие правило вычисления координат цветности воспринимаемого наблюдателем цвета, основаны на законе аддитивного смешения цветов Грассмана. Количественная оценка влияния спектрального состава излучения от внешнего источника искусственного освещения на цветовой охват воспринимаемого наблюдателем изображения выполнена методом моделирования в среде MathCad 15.0. **Основные результаты.** Показано, что цветовая палитра бортового средства индикации, полученная в составе автоматизированного рабочего места при каком-либо одном источнике искусственной освещенности со спектром дневного (белого) света, не может быть использована в режиме ночного полета летательного аппарата. Наблюдатель становится недоступно восприятию насыщенных основных цветов: красного и синего для источника зелено-голубого освещения; зеленого и синего – для источника красного освещения. Для источников повышенной внешней освещенности с «теплым» белым цветом характерно существенное смещение воспринимаемых наблюдателем цветов из области насыщенного синего и зеленого цветов в направлении точки белого цвета, определяемой источником освещенности. Для источников повышенной внешней освещенности с «ровным» белым цветом, а также с белым цветом, координаты точки белого цвета которого совпадают с координатами точки белого цвета треугольника цветового охвата, свойственного экрану, смещению воспринимаемых наблюдателем цветов в равной степени подвержены основные цвета (красный, зеленый, синий) и желтый, голубой, пурпурный цвета. Для источников повышенной внешней освещенности с «холодным» белым цветом характерно существенное смещение воспринимаемых наблюдателем цветов из области насыщенного красного и зеленого цветов в направлении точки белого цвета, определяемой источником освещенности. **Практическая значимость.** Результаты работы могут использоваться разработчиками средств отображения информации и изготовителями жидкокристаллических панелей для выполнения колориметрических расчетов с учетом воздействия на экран внешней освещенности с различным спектральным составом.

Ключевые слова

индикация, координаты цветности, внешняя освещенность, цветовой охват.

RESEARCH OF NIGHT LIGHT EFFECTS ON COLORIMETRIC CHARACTERISTICS OF IMAGE PERCEIVED BY THE PILOT IN AN AIRCRAFT COCKPIT

I.O. Zharinov^a, O.O. Zharinov^b

^a SPb Scientific Design Bureau "Electroavtomatika" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

^b Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation

Corresponding author: Igor_rabota@pisem.net

Article info

Received 02.02.15, accepted 16.06.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-831-838

Article in Russian

For citation: Zharinov I.O., Zharinov O.O.. Research of night light effects on colorimetric characteristics of image perceived by the pilot in an aircraft cockpit. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 5, pp. 831–838.

Abstract

Subject of Research. The influence of radiation spectra from the source of artificial night light on colorimetric characteristics of image perceived by the pilot in the aircraft cockpit has been studied. The image is displayed on the LCD screen of multifunctional color indication equipment unit. Night illumination of the cockpit is performed with the use of artificial lamps of red, green, blue and, rarely, white light. **Method.** Any given color to be displayed on the screen is perceived by an observer differently with presence and absence of external illumination. When external light of white color is used, perceived color depends upon color temperature of the light source; if illumination source has any arbitrary spectral characteristics, then perceivable color depends upon whole spectral content of the used source. The color, perceived by an observer, is formed as the mixture of the color displayed on the screen (image element color) with the color presented by diffuse reflection of external illumination source from the surface of the screen. The brightness of both colors is added. Mathematical expressions, that define calculation rule for chromaticity coordinates of color perceived by an observer, are based on the Grassmann's law of additive color mixing. Quantitative analysis of the effect, caused by radiation spectra from an external source of artificial light on color gamut area, corresponding to image, perceived by an observer, has been performed through simulation in MathCad 15.0. **Main Results.** It was shown, that the color palette of on-board indication equipment, obtained on automated working place for any preset source of external illumination of fluorescent spectrum, corresponding to white light, is not usable correctly in the aircraft night flight mode. An observer loses ability to perceive properly saturated primary colors of red and blue in the case of green-blue light source of external illumination; and the same issue occurs with green and blue for red light source. Using of sources with high illumination level of "warm" white color causes significant shift of the colors perceived by an observer, from the area of saturated blue and green colors in the direction towards the white point defined by illumination source. Using the sources with high illumination level of smooth white color and also with the white color, which white point coordinates coincide with the white point coordinates the color gamut triangle of the tested screen, lead to offset of colors, perceived by an observer, equally for each primary color (red, green, blue) and yellow, cyan and magenta as well. And finally, dealing with sources with high illumination level of "cold" white color, significant offset of colors, perceived by an observer, occurs; those seeming colors are drifting from the area of saturated red and green colors in the direction towards the white point defined by illumination source. **Practical Relevance.** The results are usable by developers of indication equipment and the manufacturers of LCD panels for colorimetric calculations with account of an influence of external illumination with various spectral content on the screen.

Keywords

indication, chromaticity coordinates, external illumination, color gamut.

Введение

Практический опыт эксплуатации бортовых индикаторов класса МФЦИ (многофункциональные цветные индикаторы), выполненных на базе плоских жидкокристаллических (ЖК) панелей [1], показал, что надежность восприятия наблюдателем пилотажно-навигационной информации в значительной степени зависит от светотехнических характеристик МФЦИ и условий наблюдения.

Светотехнические характеристики МФЦИ определяются яркостью изображения на экране в цветах, заданных в цветовой палитре программного обеспечения, и коэффициентами диффузного и зеркального отражения. Условия наблюдения предполагают восприятие информации наблюдателем на фоне внешнего источника света (естественного или искусственного), создающего в плоскости экрана ЖК-панели повышенный уровень освещенности.

Наличие внешней освещенности оказывает заметное влияние на восприятие индицируемой информации и в ряде случаев приводит к инверсии отображаемого цвета и снижению контраста изображения, что недопустимо в авиационном приборостроении.

Для снижения влияния спектрального состава и уровня внешней освещенности на качество восприятия изображения используются различные подходы, основанные:

- на повышении яркости изображения МФЦИ за счет использования предельных электрических режимов ламп (светодиодов) подсвета ЖК-панелей [2, 3];
- на использовании специализированных светопоглощающих покрытий, снижающих значения коэффициентов диффузного и зеркального отражения [4–6];

- на подборе в результате теоретических исследований и практических экспериментов на светотехнических стендах программных компонентов кодов цветов [7–9], составляющих цветовую палитру бортового средства индикации и обладающих наилучшими характеристиками восприятия для наблюдателя.

Каждый из этих подходов в отдельности имеет ограничения по возможности своего применения. Так, существенное повышение яркости изображения на экране ЖК-панели резко снижает ресурс прибора. Введение в конструкцию МФЦИ антибликовых и антиотражающих пленок на порядок ухудшает отражательные способности ЖК-панелей и повышает контраст изображения, однако такие покрытия, наносимые с использованием клея на промышленно изготавливаемые ЖК-панели, неустойчивы к плесневым грибам, повышенной влажности и соляному туману. Определение программных кодов цветов на практике осуществляется с использованием осветителей белого света только одного типа в предположении об эквивалентности спектров излучения искусственного и естественных источников света во всех возможных условиях эксплуатации летательного аппарата.

В этой связи актуальной является задача разработки и исследования метода оценки цветового охвата изображения, воспринимаемого наблюдателем, сочетающего в себе все три подхода и обеспечивающего восприятие пилотажно-навигационной информации наблюдателем для всех возможных видов естественных и искусственных источников света, встречающихся на практике, с учетом интенсивности их излучения.

Смещение координат цветности воспринимаемого наблюдателем изображения

Спектральный состав источника света, которым освещается ЖК-панель МФЦИ, в значительной степени влияет на колориметрические характеристики цвета, воспринимаемого наблюдателем [8].

Один и тот же цвет, индицируемый на экране МФЦИ, воспринимается наблюдателем по-разному в условиях наличия и отсутствия внешней освещенности и источников внешней освещенности, обладающих различной цветовой температурой T_k (для источника белого света) или различной доминирующей длиной волны (для монохроматического источника света).

Смещение (x, y) -координат цветности элементов изображения, индицируемых на ЖК-панели МФЦИ, и сужение цветового охвата, воспринимаемого наблюдателем, обусловлено влиянием свойств [10] внешней отражающей поверхности ЖК-панели. Часть внешней освещенности, создаваемой источником света в плоскости ЖК-панели, отражается в направлении наблюдателя пропорционально ненулевому значению коэффициента ρ_d диффузного отражения. Влияние коэффициента зеркального отражения ЖК-панели может быть сведено к нулю за счет конструктивного размещения МФЦИ в составе кабины летательного аппарата, при котором внешний падающий свет всегда зеркально переотражается не в направлении наблюдателя.

Свет, диффузно отраженный от ЖК-панели в направлении наблюдателя, создает дополнительный цвет, аддитивно складываемый с цветом изображения, индицируемого на ЖК-панели. Таким образом, наблюдатель вместо цвета изображения воспринимает в каждой точке экрана смесь двух разнотонных цветов – цвета изображения и цвета, отраженного от экрана ЖК-панели.

Координаты цвета, излучаемого ЖК-панелью, определяются преобразованием Грассмана [11]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где X, Y, Z – координаты цвета; $X_r, X_g, X_b, Y_r, Y_g, Y_b, Z_r, Z_g, Z_b$ – компоненты цвета, определенные Международной комиссией по освещению; R, G, B – коды (в десятичной системе счисления) компонентов основных цветов (красный, зеленый, синий) в системе RGB (R – Red, G – Green, B – Blue). Компоненты X_r, Y_r, Z_r представляют собой веса десятичных кодов красного цвета, компоненты X_g, Y_g, Z_g и X_b, Y_b, Z_b – веса кодов зеленого и синего цвета соответственно. Компоненты цвета определяют модель цветопередачи (профиль) ЖК-панели.

Координаты цвета, создаваемого диффузно переотраженным светом от источника внешней освещенности, определяются из следующих соотношений [12]:

$$\begin{cases} X = \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) \rho_d d\lambda \\ Y = \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) \rho_d d\lambda, \\ Z = \int_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) \rho_d d\lambda \end{cases} \quad (2)$$

где $E(\lambda)$ – относительное распределение спектральной плотности освещенности источника света; $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – удельные координаты сложения для основных цветов.

Интегрирование (2) выполняется в диапазоне видимых длин волн путем суммирования произведений подынтегральных функций:

$$\begin{cases} X = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) \rho_d \Delta\lambda \\ Y = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) \rho_d \Delta\lambda \\ Z = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=780} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) \rho_d \Delta\lambda \end{cases} \quad (3)$$

Для стандартных люминесцентных ламп искусственного света в (3) принимается $\Delta\lambda = 10$ нм, для ламп, в спектре излучения которых имеется неравномерность в интервале менее 10 нм, интервал $\Delta\lambda$ выбирается на уровне 5 нм. Удельные координаты сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, необходимые для расчета, приведены в виде таблицы¹. Для исключения влияния на результаты расчетов яркости цвета координаты цвета XYZ могут быть нормированы по значению Y.

Координаты цветности (x, y) для цвета, создаваемого диффузным переотражением внешнего светового потока, и для индицируемого цвета определяются по следующим правилам:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \quad X = \frac{xy}{y}, \quad Z = \frac{(1-x-y)Y}{y}. \quad (4)$$

Яркость смеси двух цветов, воспринимаемых наблюдателем, суммируется. Яркость изображения $L_{\text{и}}$ определяется яркостью ЖК-панели в выбранном цвете. Яркость цвета, диффузно отраженного от поверхности ЖК-панели, определяется² как

$$L_{\text{вн}} = \frac{\rho_d E_{\text{вн}}}{\pi}, \quad (5)$$

где $E_{\text{вн}}$ – уровень освещенности плоскости экрана, измеряемый люксметром.

Коэффициент диффузного отражения ρ_d определяется экспериментально в выключенном состоянии ЖК-панели по методике [13], предусматривающей формирование в плоскости экрана заданного уровня $E_{\text{вн}}$ и измерения яркомером $L_{\text{вн}}$ с последующим расчетом ρ_d . Снижение коэффициента ρ_d возможно за счет нанесения на экран специализированных покрытий [4–6].

Таким образом, яркость смеси равна $L_c = L_{\text{вн}} + L_{\text{и}}$, где $L_{\text{вн}}$ определяется только коэффициентом отражения ρ_d экрана ЖК-панели и уровнем внешней освещенности $E_{\text{вн}}$. Уровень $E_{\text{вн}}$ в эксплуатации определяет система автоматической регулировки яркости [14], расположенная в лицевой части МФЦИ. Результаты измерения яркости различных моделей МФЦИ приведены в [7], результаты оценки их коэффициента ρ_d – в [13].

Координаты цветности интегрального цвета (смеси), воспринимаемого наблюдателем и образованного суммой двух цветов, заданных колориметрическими характеристиками (x_1, y_1, Y_1) , (x_2, y_2, Y_2) , определяются выражениями

$$x = \frac{x_1 \frac{Y_1}{y_1} + x_2 \frac{Y_2}{y_2}}{\frac{Y_1}{y_1} + \frac{Y_2}{y_2}}, \quad y = \frac{Y_1 + Y_2}{\frac{Y_1}{y_1} + \frac{Y_2}{y_2}}, \quad Y = Y_1 + Y_2. \quad (6)$$

Результаты моделирования

Для организации искусственного освещения кабин летательных аппаратов в условиях ночного полета используется белый, красный или зелено-голубой свет. Источниками искусственного освещения кабин являются специализированные осветительные лампы, создающие в плоскости приборной панели

¹ ГОСТ 23198-94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик. Введ. 01.01.1996. М.: Изд-во стандартов, 1996, 89 с.

² ГОСТ 52870-07 Средства отображения информации коллективного пользования. Введ. 01.01.2009. М.: Стандартинформ. 2009. 22 с.

объекта освещенность на уровне 150–200 Лк. При этом собственная яркость бортового средства индикации в режиме ночного полета, как правило, не превышает 20–30 кд/м² в белом цвете, что обусловлено особенностями восприятия наблюдателем изображения в затемненных условиях [15].

Таким образом, отношение собственной яркости индикатора в заданном цвете и яркости (5) цвета, обусловленного диффузно отраженным от изделия внешним световым потоком, варьируется в пределах от трех (для индицируемого синего цвета) до десяти (для индицируемого белого цвета) раз.

Оценка влияния спектрального состава излучения от источника искусственного освещения на цветовой охват воспринимаемого наблюдателем изображения МФЦИ выполнена методом моделирования в среде MathCad 15.0 с использованием (1)–(4), (6). Результаты оценки влияния воздействия белого света искусственного освещения кабины приведены на рис. 1, а, б.

Цветовой охват воспринимаемого наблюдателем изображения, индицируемого на экране МФЦИ, в условиях воздействия источника искусственного красного освещения приведен на рис. 1, в. Доминирующая длина волны излучаемого осветителем красного света принята равной 620 нм ($x \approx 0,65$; $y \approx 0,3$). Цветовой охват воспринимаемого наблюдателем изображения для источника искусственного зелено-голубого освещения приведен на рис. 1, г. Доминирующая длина волны излучаемого зелено-голубого света принята равной 510 нм ($x \approx 0,05$; $y \approx 0,75$).

Расчет координат цветности вершин треугольника цветового охвата выполнен по формулам [16]:

$$R: \{x_R = X_r / (X_r + Y_r + Z_r), y_R = Y_r / (X_r + Y_r + Z_r)\},$$

$$G: \{x_G = X_g / (X_g + Y_g + Z_g), y_G = Y_g / (X_g + Y_g + Z_g)\},$$

$$B: \{x_B = X_b / (X_b + Y_b + Z_b), y_B = Y_b / (X_b + Y_b + Z_b)\},$$

где (x_R, y_R) , (x_G, y_G) , (x_B, y_B) – соответственно координаты цветности точки красного R , зеленого G и синего B цветов треугольника цветового охвата ЖК-панели МФЦИ на XY -плоскости.

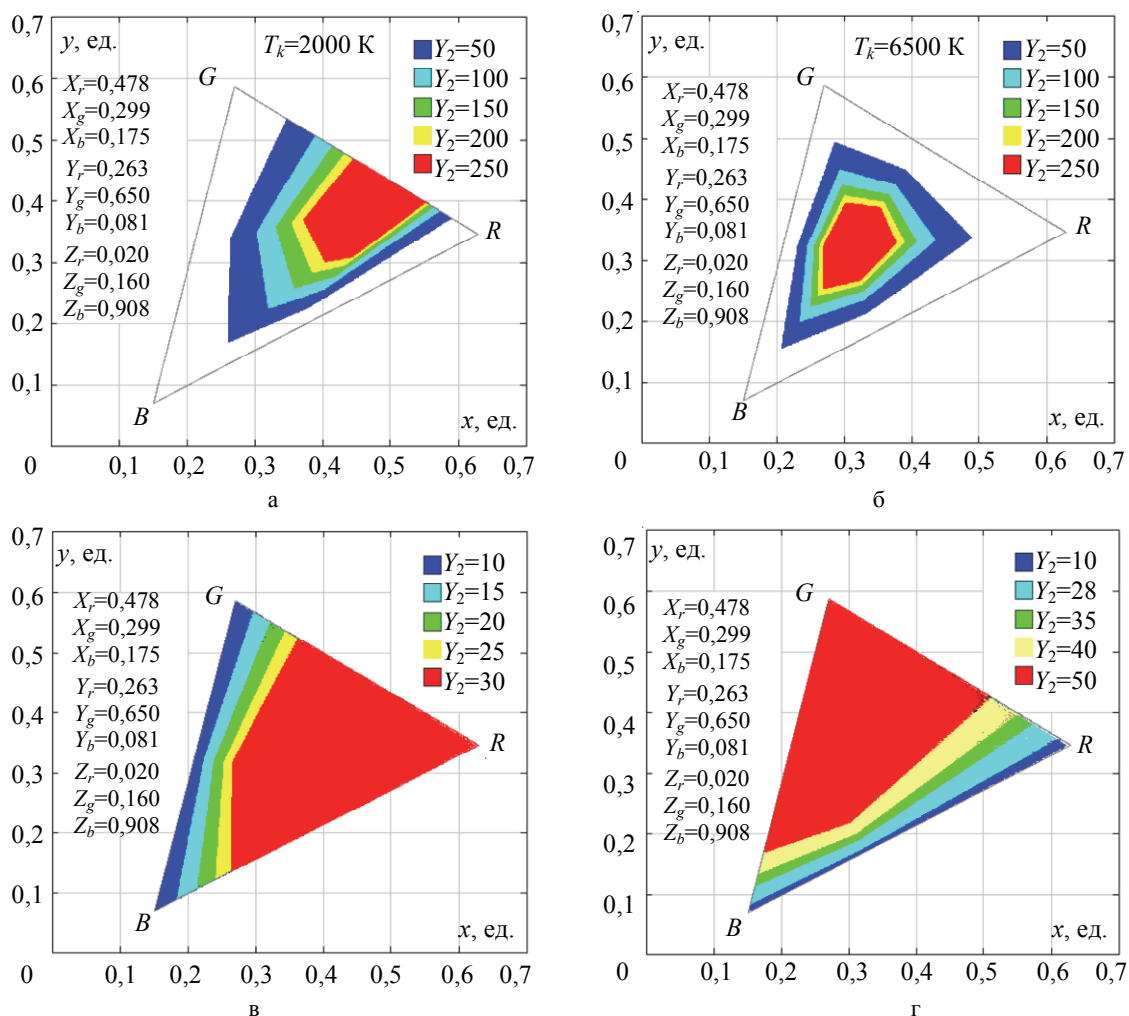


Рис. 1. Цветовой охват воспринимаемого наблюдателем изображения в условиях освещенности: белого цвета с $T_k = 2000\text{ K}$ (а); белого цвета с $T_k = 6500\text{ K}$ (б); красного цвета (в); зелено-голубого цвета (г) (точка белого цвета ЖК-панели соответствует стандарту D-65)

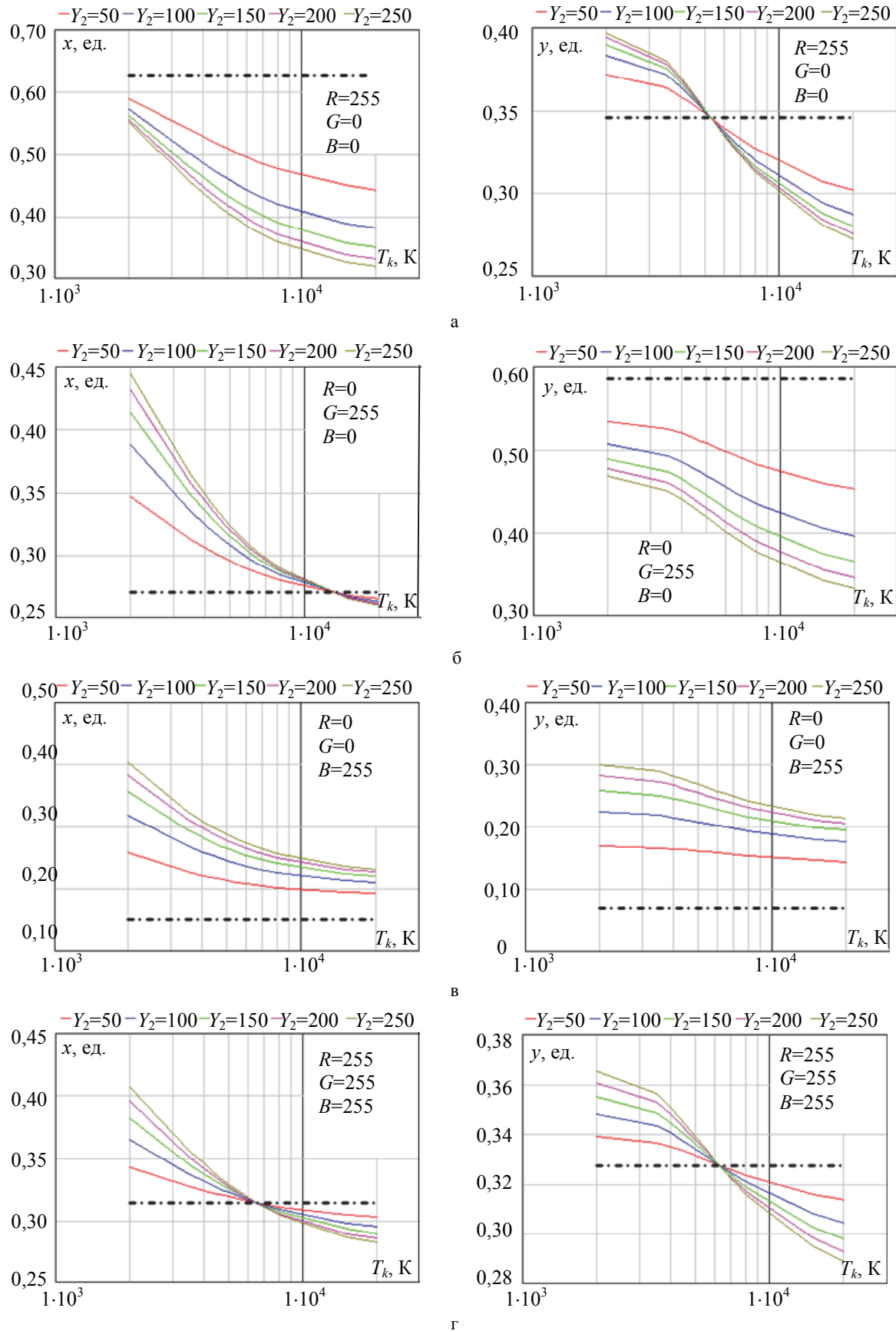


Рис. 2. Зависимость смещения (x,y)-координат цветности: красного цвета (а); зеленого цвета (б); синего цвета (в); белого цвета (г) от цветовой температуры T_k источника «белой» внешней освещенности ЖК-панели

Оценочные графики смещения координат цветности, полученные в результате моделирования для источников внешней освещенности белого цвета с различным значением T_k , приведены на рис. 2. Координаты цветности (x_2, y_2, Y_2) белого цвета от источника внешней освещенности определялись в программе моделирования из следующих соотношений:

$$x_2(T_k) = \begin{cases} \frac{-4,6070 \cdot 10^9}{T_k^3} + \frac{2,9678 \cdot 10^6}{T_k^2} + \frac{0,09911 \cdot 10^3}{T_k} + 0,244063, & 2000 \text{ К} \leq T_k \leq 7000 \text{ К}; \\ \frac{-2,0064 \cdot 10^9}{T_k^3} + \frac{1,9018 \cdot 10^6}{T_k^2} + \frac{0,24748 \cdot 10^3}{T_k} + 0,237040, & 7000 \text{ К} < T_k \leq 25000 \text{ К}; \end{cases}$$

$$y_2(T_k) = -3x_2^2(T_k) + 2,87x_2(T_k) - 0,275.$$

Пунктирной линией на рис. 2 показано истинное значение координаты цветности для индицируемого цвета с учетом заданного профиля модели цветопередачи ЖК-панели.

Для источников повышенной внешней освещенности с «теплым» белым цветом характерно существенное смещение воспринимаемых наблюдателем цветов из области насыщенного синего и зеленого цветов в направлении точки белого цвета, определяемой источником освещенности. Таким образом, в условиях повышенной освещенности от источника «теплого» белого света ухудшается восприятие наблюдателем зеленого и синего цветов и их оттенков, образуемых незначительным добавлением в код *RGB*-компонента красного цвета. Оттенки красного цвета различаются наблюдателем в полной мере при достаточном уровне яркостного контраста изображения [17].

Для источников повышенной внешней освещенности с «ровным» белым цветом, а также с белым цветом, координаты точки T_k которого совпадают на *XY*-плоскости с координатами точки белого цвета треугольника цветового охвата, свойственного ЖК-панели МФЦИ, смещению воспринимаемых наблюдателем цветов в равной степени подвержены основные цвета (красный, зеленый, синий) и желтый, голубой, пурпурный цвета, в связи с чем использование в программном коде *RGB* цветовой палитры МФЦИ «чистых» цветов нежелательно.

Для источников повышенной внешней освещенности с «холодным» белым цветом характерно существенное смещение воспринимаемых наблюдателем цветов из области насыщенного красного и зеленого цветов в направлении точки белого цвета, определяемой источником освещенности. Таким образом, в условиях повышенной освещенности от источника «холодного» белого света ухудшается восприятие наблюдателем зеленого и красного цветов и их оттенков, образуемых незначительным добавлением в код *RGB* компонента синего цвета. Оттенки синего цвета различаются наблюдателем в полной мере при достаточном уровне яркостного контраста изображения.

Заключение

Анализ результатов моделирования показывает, что цветовой охват наблюдателя, воспринимающего изображение на экране многофункционального индикатора в условиях наличия внешней освещенности, существенно сужается при интенсивном внешнем белом свете, при котором отношение собственной яркости изделия оказывается сравнимым с яркостью цвета, диффузно отраженного от внешней поверхности изделия в направлении наблюдателя.

Источники искусственной внешней освещенности красного и зелено-голубого цвета оказывают при отношении 1:1 собственной и диффузной яркостей существенно меньшее влияние. Наблюдателю становится недоступно восприятие насыщенных основных цветов: красного и синего – для источника зелено-голубого освещения; зеленого и синего – для источника красного освещения. В этой связи выбор осветителя на борту необходимо производить с учетом графиков рис. 1 для соответствующих отношений яркостей $Y_1 : Y_2$, достигаемых в эксплуатации.

Полученные на математических моделях теоретические результаты с достаточной для практики точностью согласуются с ранее полученными результатами практических экспериментов, выполненных на образцах многофункциональных индикаторов разработки ФГУП «Санкт-Петербургское опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова» в ГНИИ ВМ МО РФ «Государственный научно-исследовательский испытательный центр авиационной медицины и военной эргономики».

Литература

1. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2005. 144 с.
2. Греф П., Хульце Х.Г. Технологии адаптивного изменения яркости задней подсветки телевизионных ЖК-экранов // Электронные компоненты. 2008. № 3. С. 70–76.
3. Дятлов В.М. Разработка и исследование конструкции стеклопакета жидкокристаллического экрана // Научно-технический вестник «Военная электроника и электротехника». 2010. № 62. С. 270–279.

4. Высоцкий В., Бауткин В. Улучшение оптических свойств жидкокристаллических панелей // Современная электроника. 2009. № 8. С. 22–25.
5. Зайцев А. Требования и испытания TFT-модулей NEC Electronics, работающих в жестких условиях эксплуатации // Компоненты и технологии. 2007. № 72. С. 16–20.
6. Индутьный И.З., Шепелявый П.Е., Михайловская Е.В., Парк Ч.В., Ли Дж.Б., До Я.Р. Градиентные светопоглощающие покрытия $\text{SiO}_x\text{-Me}$ для дисплейных экранов // Журнал технической физики. 2002. Т. 72. № 6. С. 67–72.
7. 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.
8. Синяк М. Влияние внешнего освещения на принятие оценочного решения о качестве полиграфических оттисков // КомпьюАрт. 2008. № 5. С. 38–45.
9. Синяк М. Цвет как критерий оценки // Мир этики. 2006. № 3. С. 52–56.
10. Белов Н.П., Яськов А.Д., Грисимов В.Н. Лабораторный спектрометр для исследования коэффициента отражения и определения параметров цветности диффузно отражающих поверхностей // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 7. С. 74–78.
11. 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.
12. Гарютин И.А. Формирование критерия подобия цветовых характеристик газоразрядных металлогалогенных ламп // Изв. вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 3. С. 71–75.
13. Костишин М.О., Жаринов И.О. Исследование оптических параметров бортовых средств индикации геоинформационных данных // Вестник Череповецкого государственного университета. 2014. № 2-55. С. 5–9.
14. Жаринов И.О., Жаринов О.О., Парамонов П.П., Костишин М.О., Сударчиков С.А. Принципы построения автоматических систем в канале управления тепловыми и светотехническими характеристиками бортовых средств индикации // Изв. вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 12. С. 34–38.
15. Barber S., Dunbar L.L., Hardin D., Seah K. Aeronautical Chart Display Apparatus and Method. Patent US, N 7417641, 2008.
16. Kumar S.V., Ramana P.V. Color selection algorithm design for smart lighting application // International Journal of Computer Science and Information Technology & Security. 2014. V. 4. N 1. P. 8–13.
17. 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. V. 9. N 5. P. 197–210. doi: 10.5539/mas.v9n5p197

Жаринов Игорь Олегович	—	доктор технических наук, доцент, руководитель учебно-научного центра, ФГУП «Санкт-Петербургское ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация, Igor_rabota@pisem.net
Жаринов Олег Олегович	—	кандидат технических наук, доцент, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, 190000, Российская Федерация, zharinov73@hotmail.ru
Igor O. Zharinov	—	D.Sc., Associate professor, Chief of Learning Scientific Center, SPb Scientific Design Bureau "Electroavtomatika" n.a. P. A. Efimov, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation, Igor_rabota@pisem.net
Oleg O. Zharinov	—	PhD, Associate professor, Associate professor, Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation, zharinov73@hotmail.ru