

УДК 628.932

Д.В. Харькин, И.П. Ефимов

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МОДУЛЯ ПОДСВЕТА ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ НА БАЗЕ ЦВЕТНЫХ СВЕТОДИОДОВ

*Харькин Дмитрий Владимирович, окончил Факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета. Аспирант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Начальник научно-исследовательского отдела АО «УКБП». Имеет статьи по светотехнической тематике. [e-mail: hardim@mail.ru].*

*Ефимов Иван Петрович, кандидат технических наук, окончил Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение». Доцент кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Имеет статьи, изобретения в области первичных преобразователей давления аэроматрических систем летательных аппаратов. [e-mail: eip@ulstu.ru].*

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы построения модуля подсвета жидкокристаллических панелей на базе цветных RGB-светодиодов. Приведены алгоритмы управления светодиодами для обеспечения требуемых светотехнических характеристик жидкокристаллических модулей. Адекватность полученных алгоритмов проверена с помощью экспериментальных исследований. Рассмотрено влияние отдельных характеристик светодиодов и конструктивных элементов на коэффициент полезного действия подсвета. Полученные математические модели и алгоритмы позволяют автоматизировать процесс разработки светодиодных подсветов с прогнозируемыми светотехническими характеристиками. Появляется возможность оперативно подобрать элементы с требуемыми конструктивными параметрами для конкретного светодиодного подсвета на первоначальном этапе разработки.

Ключевые слова: математическая модель, светодиодный подсвет, рассеиватель, алгоритм управления.

## THE MATHEMATICAL MODEL AND THE CREATION METHOD OF THE ILLUMINATIONS MODULE OF LIQUID CRYSTAL PANELS ON THE BASIS OF COLORED LEDs

*Dmitrii Vladimirovich Kharkin, graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Postgraduate Student at the Department of Measuring and Computing Complexes Department of Ulyanovsk State Technical University; Head of the Research Laboratory at Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau Joint-Stock Company; an author of articles in the field of illumination engineering. e-mail: hardim@mail.ru.*

*Ivan Petrovich Efimov, Candidate of Engineering; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute with a specialty in Aircraft Instrument Engineering; Senior Lecturer of the Measuring and Computing Complexes Department of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles, inventions in the field of primary pressure sensors of aircraft air data measuring systems. e-mail: eip@ulstu.ru.*

### Abstract

The article considers construction of a module of illumination of liquid crystal panels on the basis of colored RGB LEDs. The algorithms of LED control for providing required illumination characteristics of liquid crystal modules are described. The algorithms' adequacy was examined experimentally. The article also covers questions of influence of some characteristics of LEDs and constructive elements on illumination efficiency factor. The obtained mathematical models and algorithms allow to automate the development process of LED illuminations with forecasted characteristics. The ability to select elements with required constructive parameters for the specific LED illumination at the initial stage of development is appeared.

Key words: mathematical model, LED illumination, disperser, control algorithm.

### ВВЕДЕНИЕ

Практически все современные системы автоматизированного управления технологическими процессами имеют в своем составе электронные индикаторы. Значительная доля таких устройств отображения информации приходится на жидкокристаллические дисплеи (ЖК-дисплеи), которые имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с другими индикаторами. Основной проблемой при разработке и изготовлении ЖК-индикаторов является обеспечение требуемых светотехнических параметров и характеристик.

Цветные, активно матричные ЖК-панели в электронной аппаратуре начали применяться с 1990 года, при этом ЖК-панели не обладают способностью к свечению. Принцип их работы основан на пропускании поляризованного света определенных длин волн за счет поворота жидких кристаллов под действием электрического поля. Поэтому одной из важнейших задач при разработке и изготовлении ЖК-панелей в коммерческой технике или индустриальных системах управления является разработка узлов подсвета ЖК-панелей. В настоящее время в качестве источника света в ЖК-индикаторах используются преимущественно светодиоды [1, 2]. В ЖК-панелях наиболее часто используются белые светодиоды [3, 4]. Особенно это характерно для коммерческих индикаторов. Подсвет на базе данных светодиодов имеет простую схему управления, достаточно низкую стоимость и высокий коэффициент полезного действия (КПД). Но белые люминофорные светодиоды имеют и недостатки: малый цветовой

охват, невозможность установки требуемых координат цветности и не всегда существует возможность заказа данных светодиодов с требуемыми цветовыми характеристиками [5]. Кроме этого, наблюдается разброс от партии к партии светотехнических и цветовых характеристик светодиодов. Как следствие этого, возникают значительные трудности в обеспечении цветовых характеристик ЖК-индикаторов, используемых в военной, авиационной и индустриальной областях. К коммерческим индикаторам предъявляются, как правило, менее жесткие требования. Одним из отечественных документов, нормирующих цветовые характеристики, является авиационный стандарт ОСТ 1 00533-87 [6]. В таблице 1 и на рисунке 1 показаны результаты измерения цветовых характеристик некоторых ЖК-модулей со светодиодными подсветами на базе белых светодиодов. Можно заметить, что измеряемые цвета модулей находятся вне областей цветов, требуемых по ОСТ 1 00533-87. Решить проблему можно применением отдельных цветных светодиодов или однокорпусных RGB-светодиодов. Подсвет с применением указанных светодиодов имеет более высокую стоимость, но с развитием полупроводниковой промышленности стоимость подсвета на базе RGB-светодиодов постоянно снижается. Вместе с тем указанный подсвет имеет ряд преимуществ по сравнению с подсветом на белых светодиодах:

Таблица 1

Значения координат цветности ЖК-модулей на базе белых светодиодов

Цвет	Области цветов по ОСТ 1 00533-87	МЖКЭ-6 (светодиоды ф. OSRAM)	МДЦ-1с (светодиоды ф. Lumileds)	МДЦ-14 (светодиоды ф. OSRAM)	IDC104
Белый	$x_1=0,300$ $y_1=0,300$ $x_2=0,300$ $y_2=0,325$ $x_3=0,500$ $y_3=0,410$ $x_4=0,500$ $y_4=0,435$	<b><math>x=0,36</math></b> <b><math>y=0,40</math></b>	$x=0,35$ $y=0,36$	$x=0,32$ $y=0,35$	<b><math>x=0,32</math></b> <b><math>y=0,37</math></b>
Красный	$x_1=0,680$ $y_1=0,320$ $x_2=0,735$ $y_2=0,265$ $x_3=0,670$ $y_3=0,320$ $x_4=0,720$ $y_4=0,270$	<b><math>x=0,60</math></b> <b><math>y=0,36</math></b>	$x=0,61$ $y=0,34$	$x=0,58$ $y=0,35$	<b><math>x=0,58</math></b> <b><math>y=0,36</math></b>
Зеленый	$x_1=0,026$ $y_1=0,400$ $x_2=0,302$ $y_2=0,692$ $x_3=0,240$ $y_3=0,400$ $x_4=0,320$ $y_4=0,480$	<b><math>x=0,36</math></b> <b><math>y=0,55</math></b>	$x=0,34$ $y=0,56$	$x=0,33$ $y=0,54$	<b><math>x=0,34</math></b> <b><math>y=0,55</math></b>
Синий	$x_1=0,089$ $y_1=0,137$ $x_2=0,144$ $y_2=0,033$ $x_3=0,157$ $y_3=0,192$ $x_4=0,168$ $y_4=0,069$	<b><math>x=0,16</math></b> <b><math>y=0,19</math></b>	$x=0,16$ $y=0,17$	$x=0,18$ $y=0,22$	<b><math>x=0,19</math></b> <b><math>y=0,23</math></b>
Желтый	$x_1=0,603$ $y_1=0,397$ $x_2=0,545$ $y_2=0,455$ $x_3=0,530$ $y_3=0,447$ $x_4=0,590$ $y_4=0,390$	<b><math>x=0,46</math></b> <b><math>y=0,46</math></b>	$x=0,46$ $y=0,46$	$x=0,42$ $y=0,47$	<b><math>x=0,42</math></b> <b><math>y=0,47</math></b>

1) возможность создавать подсвет с любыми координатами цветности белого цвета (цветовой температурой), обеспечивая тем самым как соответствие государственным и отраслевым стандартам по координатам цветности, так и повторяемость по цветности между отдельными экземплярами изделий;

2) более широкий цветовой охват по сравнению с белыми люминофорными светодиодами.

При этом подсвет на базе RGB-светодиодов, из-за различных характеристик светодиодов разного цвета, требует более сложный алгоритм управления светодиодами по сравнению с подсветом на базе белых светодиодов.

Поэтому вопрос построения математических моделей и алгоритмов управления светодиодным подсветом на базе RGB-светодиодов является важной научно-технической задачей.

В статье представлены математическая модель, метод реализации и алгоритм управления светодиодами ЖК-модуля с подсветом на базе RGB-светодиодов.

### ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СВЕТОДИОДНОГО ПОДСВЕТА

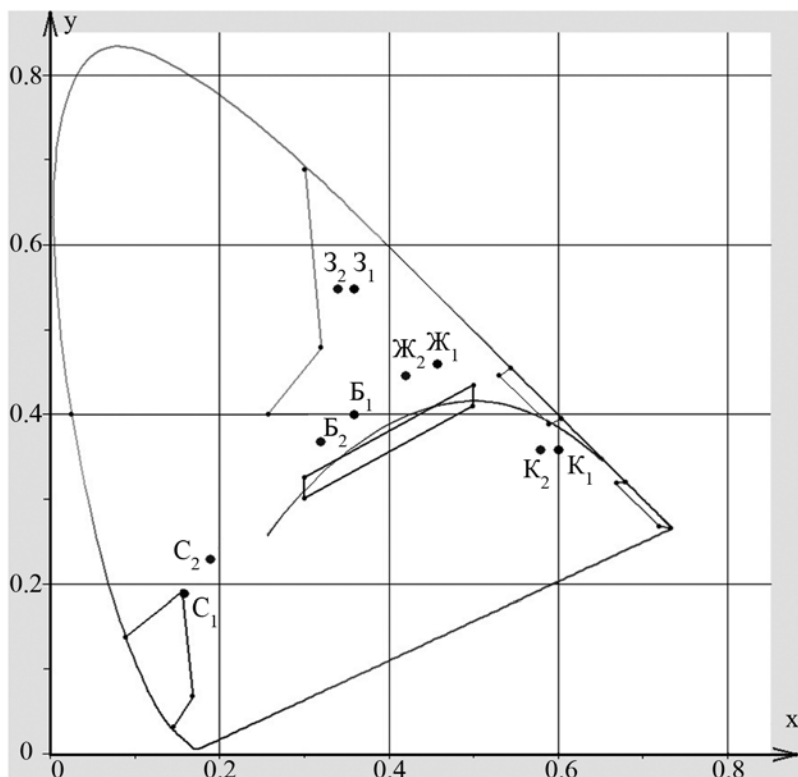
Человек воспринимает три цвета, попадающие на сетчатку глаза одновременно в одну точку, как смешение (общую сумму) трех цветов. При восприятии синего, зеленого и красного цветов человеческий глаз выделяет три сигнала:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , также называемые цветовыми

стимулами. При этом в зеленом стимуле содержится информация о яркости (фактически передается два сигнала). В результате каждое ощущение цвета состоит из четырех сигналов:

- Сигнал  $X$ : красный цвет,
- Сигнал  $Y$ : зеленый цвет,
- Сигнал  $Z$ : синий цвет,
- Сигнал  $Y$ : яркость (дополнительно к цвету).

Комбинация этих четырех сигналов может использоваться для описания воспринимаемого цвета, а также воспринимаемой яркости. Каждое значение  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  для цвета определяется двумя компонентами: длиной волны источника света и чувствительностью стандартного человеческого глаза для этой длины волны. В зависимости от интенсивности каждого сигнала меняются и оттенки воспринимаемого цвета. При этом цветовая температура трехцветного источника света может меняться в широких пределах от 1000 К до 10000 К. В соответствии со стандартом, на основании которого разрабатывается подсвет, обычно требуется цветность, находящаяся в определенной, достаточно узкой зоне. Например, по ОСТ 1 00533-87 белый цвет должен находиться в прямоугольнике, ограниченном координатами, указанными в таблице 1 и на рисунке 1. В начале проектирования подсвета необходимо определить соотношение синих, красных и зеленых светодиодов для обеспечения возможности настройки и регулировки цветовых характеристик индикатора.

Значения трех стимулов для каждого цвета могут быть рассчитаны, если известны координаты цветности  $x$ ,  $y$  и яркость или световой поток  $Y$  светодиода [7]. Данная информация содержится в спецификации на конкретный тип светодиода.



«Б» – белый, «С» – синий, «К» – красный, «З» – зеленый, «Ж» – желтый. «1» – МЖКЭ-6, «2» – IDC104.

Рис. 1. Значения координат цветности ЖК-модулей МЖКЭ-6, IDC104

$$X_i = \frac{x_i}{y_i} \cdot Y_i, \quad (1)$$

$$Y_i = Y_p, \quad (2)$$

$$Z_i = \frac{1 - x_i - y_i}{y_i} \cdot Y_i. \quad (3)$$

Стимулы белого цвета будут определяться следующими формулами:

$$X_w = X_R + X_G + X_B, \quad (4)$$

$$Y_w = Y_R + Y_G + Y_B, \quad (5)$$

$$Z_w = Z_R + Z_G + Z_B. \quad (6)$$

При этом координаты цветности белого цвета:

$$x_w = \frac{X_w}{X_w + Y_w + Z_w}, \quad (7)$$

$$y_w = \frac{Y_w}{X_w + Y_w + Z_w}. \quad (8)$$

Отсюда цветовые стимулы белого цвета определяются из уравнения:

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1-x_R-y_R}{y_R} & \frac{1-x_G-y_G}{y_G} & \frac{1-x_B-y_B}{y_B} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{bmatrix} \quad (9)$$

Яркость каждого светодиода синего, зеленого и красного цветов равна:

$$\begin{bmatrix} Y_R \\ Y_G \\ Y_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1-x_R-y_R}{y_R} & \frac{1-x_G-y_G}{y_G} & \frac{1-x_B-y_B}{y_B} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} \quad (10)$$

После замены стимулов  $X, Y, Z$  белого цвета координатами цветности  $x, y$  и яркостью, приведенной к единице, световой поток каждого светодиода будет равен:

$$\begin{bmatrix} f_R \\ f_G \\ f_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_R}{y_R} & \frac{x_G}{y_G} & \frac{x_B}{y_B} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1-x_R-y_R}{y_R} & \frac{1-x_G-y_G}{y_G} & \frac{1-x_B-y_B}{y_B} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{x_w}{y_w} \\ \frac{y_w}{1-x_w-y_w} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Например, задав исходные данные для расчета:

- требуемые координаты цветности белого цвета  $x=0,33, y=0,33$ ;
- координаты цветности красного светодиода  $x=0,70, y=0,31$ ;
- координаты цветности зеленого светодиода  $x=0,18, y=0,7$ ;
- координаты цветности синего светодиода  $x=0,13, y=0,08$ .

Получим световой поток, приведенный к единице:

$$\begin{bmatrix} f_R \\ f_G \\ f_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{0,7}{0,31} & \frac{0,18}{0,7} & \frac{0,13}{0,08} \\ 1 & 1 & 1 \\ \frac{1-0,7-0,31}{0,31} & \frac{1-0,18-0,7}{0,7} & \frac{1-0,13-0,08}{0,08} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} \frac{0,33}{0,33} \\ 1 \\ \frac{1-0,33-0,33}{0,33} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} f_R \\ f_G \\ f_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,306 \\ 0,599 \\ 0,095 \end{bmatrix} \text{ лм.} \quad (13)$$

### МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ СВЕТОДИОДНОГО ПОДСВЕТА

1. Получив соотношения световых потоков для каждого цвета светодиодов, далее выбирается вариант конструкции подсвета – отдельные R-, G-, B-светодиоды или цветные светодиоды, встроенные в один корпус.

Преимущества отдельных светодиодов:

- более высокая световая эффективность;
- возможность выбора соотношения количества светодиодов разных цветов;
- меньшее количество светодиодов, меньшая стоимость модуля подсвета.

Недостатком данного решения является необходимость принятия дополнительных мер по обеспечению смешивания цветов.

Преимущество светодиодов в одном корпусе – простота в смешивании цветов.

Недостатком решения является отсутствие возможности выбора соотношения количества светодиодов разных цветов.

2. Выбирается метод управления яркостью. Имеется два основных метода управления яркостью: амплитудный метод и широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Достоинством амплитудного метода является отсутствие мерцания ЖК-панели.

Недостатки данного подхода:

- небольшой диапазон изменения яркости, что допустимо в основном только в дисплеях коммерческого применения;
- сложность в управлении токами светодиодов.

Достоинства ШИМ-метода:

- возможность регулировки яркости в широких пределах;
- простота в управлении яркостью светодиодов.

Некоторым недостатком данного технического решения является наличие мерцания яркости, незаметное глазу.

Диапазон регулировки яркости модуля подсвета и ШИМ-управления ограничен только временем переходных процессов (рис. 2).

В промышленной, авиационной и военной аппаратуре требуется большой диапазон регулировки яркости, поэтому чаще всего выбирается ШИМ-управление.

3. При управлении ШИМ-сигналом необходимо для каждого цвета светодиодов обеспечивать свою ширину импульсов. При этом при изменении общей яркости, и соответственно, при изменении ширины импульсов это соотношение должно сохраняться для обеспечения требуемых координат цветности (рис. 3).

4. Оптические и электрические параметры светодиодов зависят от различных факторов:

- световой поток от температуры и времени наработки;
- доминантная длина волны от температуры;
- прямое падение напряжения от температуры.

Возможно влияние вибрации на данные параметры.

Функциональные зависимости рассматриваемых параметров от температуры отличаются для светодиодов разных цветов. В случае использования схемы управления, которая обеспечивает только постоянный ток по каждому каналу, координаты цветности результирующего цвета будут изменяться при изменении температуры. Компенсация указанных изменений возможна двумя способами.

Первый способ. Использование одного датчика (датчика температуры). В программе управления каналами светодиодов используются табличные зависимости параметров светодиодов от температуры, предоставляемые производителем светодиодов. Программа управления при этом подстраивает токи светодиодов при изменении температуры. Недостатком данного способа является уход координат цветности от заданных значений вследствие неизбежных разбросов температурных зависимостей светодиодов из различных партий.

Второй способ. В схеме управления используется четыре датчика: датчик температуры и три монохромных датчика светового потока для каждого цвета. Возможно применение монохромных датчиков в одном корпусе. При этом создается обратная связь по показаниям датчиков светового потока, и на основании данных показаний производится подстройка ширины импульса для каждого канала светодиодов. При этом датчик темпе-

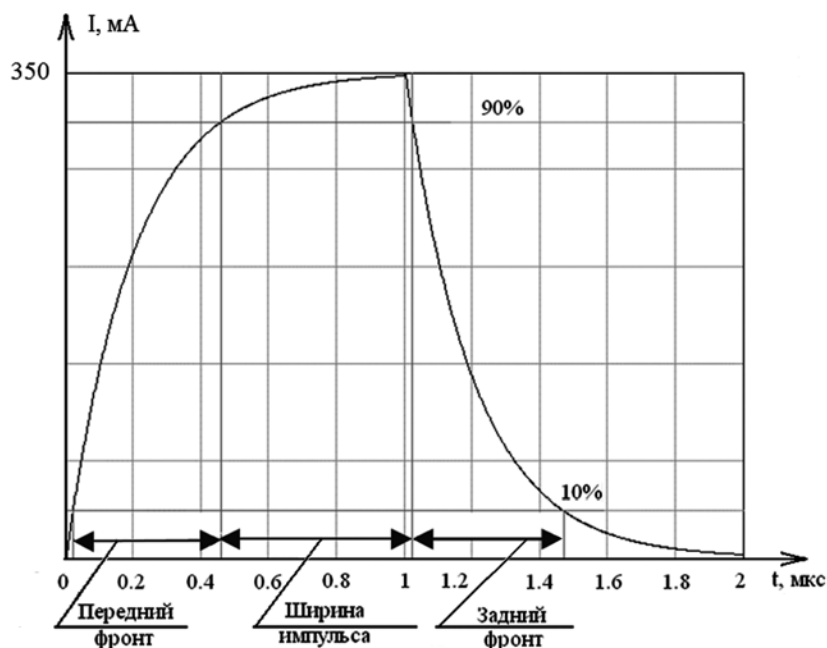


Рис. 2. Вид импульса при ШИМ-управлении

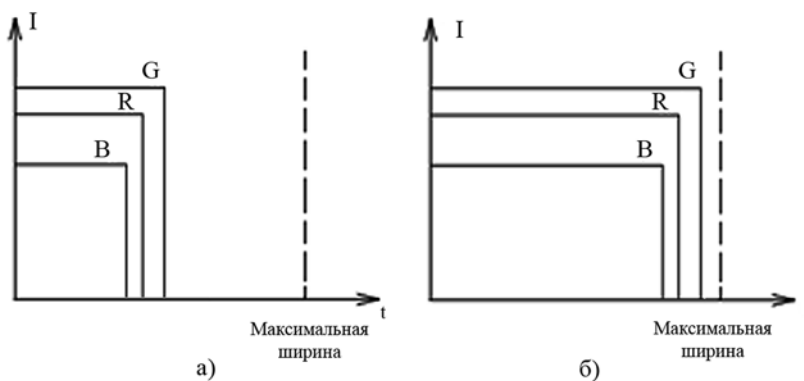


Рис. 3. Вид импульсов сигнала при ШИМ-управлении: а) низкая яркость; б) высокая яркость

ратуры используется только для защиты светодиодов модуля ЖК-подсвета от перегрева. При превышении заданной температуры происходит ограничение максимальной яркости светодиодов для обеспечения заданного температурного режима.

### РЕАЛИЗАЦИЯ СВЕТОДИОДНОГО RGB-ПОДСВЕТА

Структурная схема модуля RGB-подсвета, в котором реализован второй способ, показана на рисунке 4.

При первом включении подсвет устанавливается в ЖК-модуль и калибруется с помощью лабораторных измерителей цветности и яркости. Устанавливаются: необходимая яркость и координаты цветности светодиодов. Полученные калибровочные коэффициенты и значения, считываемые с RGB-датчиков светового потока, записываются в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) узла управления. В процессе работы ЖК-индикатора данные коэффициенты считываются узлом управления и используются для установки начального значения то-

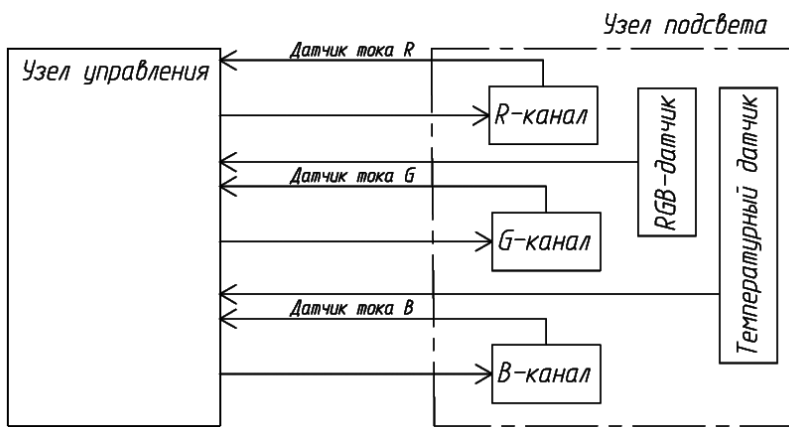
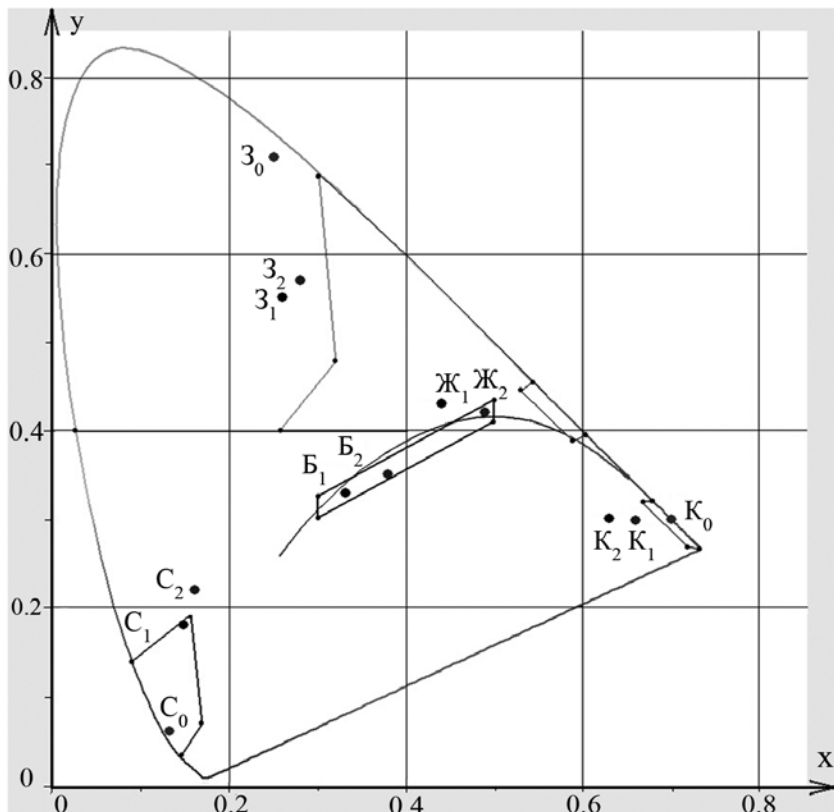


Рис. 4. Схема управления светодиодным RGB-подсветом



«Б» – белый, «С» – синий, «К» – красный, «З» – зеленый, «Ж» – желтый.

«0» – отдельные цвета, «1» – Режим 1, «2» – Режим 2.

Рис. 5. Значения координат цветности ЖК-панели с RGB-подсветом

ков каждого канала светодиодов. Записанные значения используются для точной подстройки светового потока каждого канала. При дальнейшем функционировании подсвета в случае отклонения измеренных значений от записанных коэффициентов на определенное значение, под воздействием одного или нескольких факторов (температуры, наработки, изменения общей яркости), с помощью изменения среднего тока происходит восстановление соотношения между цветовыми каналами. Для исключения мерцаний, видимых глазом, изменение тока должно производиться методом плавно-

го перебора каждого промежуточного значения.

На основании вышеизложенных методов был разработан светодиодный подсвет на базе цветных светодиодов и проведены измерения светотехнических характеристик в двух режимах (Режим 1, Режим 2) с помощью лабораторного прибора. Под режимом в данном случае понимается различное соотношение световых потоков цветовых каналов (красного, зеленого и синего цветов). Результаты измерений показаны в таблице 2 и на рисунке 5.

Координаты цветности смешанного белого цвета были установлены равными равноэнергетическому белому свету ( $x=0,33$   $y=0,33$ ), и проведено измерение других цветов. Из таблицы 2 (Режим 1) и рисунка 5 видно, что ОСТ 1 00533-87 соответствуют цвета белый, синий, зеленый, не соответствуют – красный и желтый. При этом данные цвета находятся гораздо ближе к требуемым зонам по сравнению с ЖК-панелью с белыми светодиодами.

Для большего приближения координат цветности к красной и желтой областям, дополнительно были изменены средние токи в каналах светодиодов и проведены измерения цветов со смешанным белым цветом с координатами  $x=0,38$ ,  $y=0,35$ . Из таблицы 2 (Режим 2) и рисунка 5 видно, что ОСТ 1 00533-87 соответствуют цвета белый, зеленый, не соответствуют – красный, желтый, синий. При этом измеренные цвета красный и желтый приблизились к требуемым зонам.

Для определения возможности свечения светодиодов с требуемыми по ОСТ 1 00533-87 координатами цветности были проведены измерения цвета при подсвете с функционирующим каналом одного цвета. Из таблицы 2 (Режим 2) и рисунка 5 видно, что ОСТ 1 00533-87 соответствуют все три цвета.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Подсвет на базе цветных светодиодов обладает большими возможностями по установке требуемых координат цветности;
- 2) Несоответствие по двум цветам вызвано свойствами ЖК-панели, которая не обеспечивает требуемую световую фильтрацию, в данном случае «паразитной» части спектра.

Значения координат цветности ЖК-модулей на базе цветных светодиодов

Цвет	Области цветов по ГОСТ 1 00533-87	Режим 1	Режим 2	Отдельные цвета
Белый	$x_1=0,300$ $y_1=0,300$ $x_2=0,300$ $y_2=0,325$ $x_3=0,500$ $y_3=0,410$ $x_4=0,500$ $y_4=0,435$	$x=0,33$ $y=0,33$	<b><math>x=0,38</math></b> <b><math>y=0,35</math></b>	–
Красный	$x_1=0,680$ $y_1=0,320$ $x_2=0,735$ $y_2=0,265$ $x_3=0,670$ $y_3=0,320$ $x_4=0,720$ $y_4=0,270$	$x=0,63$ $y=0,30$	<b><math>x=0,66</math></b> <b><math>y=0,30</math></b>	$x=0,66$ $y=0,30$
Зеленый	$x_1=0,026$ $y_1=0,400$ $x_2=0,302$ $y_2=0,692$ $x_3=0,240$ $y_3=0,400$ $x_4=0,320$ $y_4=0,480$	$x=0,26$ $y=0,55$	<b><math>x=0,28</math></b> <b><math>y=0,57</math></b>	$x=0,28$ $y=0,57$
Синий	$x_1=0,089$ $y_1=0,137$ $x_2=0,144$ $y_2=0,033$ $x_3=0,157$ $y_3=0,192$ $x_4=0,168$ $y_4=0,069$	$x=0,15$ $y=0,19$	<b><math>x=0,16</math></b> <b><math>y=0,22</math></b>	$x=0,16$ $y=0,22$
Желтый	$x_1=0,603$ $y_1=0,397$ $x_2=0,545$ $y_2=0,455$ $x_3=0,530$ $y_3=0,447$ $x_4=0,590$ $y_4=0,390$	$x=0,44$ $y=0,43$	<b><math>x=0,49</math></b> <b><math>y=0,42</math></b>	–

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математическая модель и предложенный метод позволяют получать данные для построения светодиодного RGB-подсвета с требуемыми цветовыми характеристиками.

При проведении исследований выявлены ограничения по получению желтого и красного цветов, регламентируемых промышленными, авиационными и военными стандартами. При этом возможны следующие варианты устранения данного несоответствия:

1) В связи с тем, что указанный отраслевой стандарт разработан для систем сигнализации и не учитывает систем отображения информации, имеющих в своем составе ЖК-модули, целесообразно разработать и внедрить стандарт с более широкими зонами по красному и желтому цветам;

2) Подбор или изготовление ЖК-панелей с требуемыми свойствами фильтрации по красному и желтому цветам;

3) В связи с тем, что жесткость ограничения указанных областей обусловлена выводом уведомляющих и предупреждающих сигналов, требующих привлечения повышенного внимания оператора, возможно в зонах данных сигналов размещение на подсвете ЖК-панели дополнительных цветных светодиодов. При необходимости вывода предупреждающего сигнала светодиоды будут включаться и обеспечивать необходимые координаты цветности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шуберт Ф.Е. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
- Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
- Kobayashi S., Mikoshiba S., Lim S. LCD Backlights // John Wiley & Sons, Ltd, 2009. 279 p.
- Дадонов В.А., Бондарь А.А. Анализ развития и современного состояния рынка светотехники // Инженерный журнал: наука и инновации: электронное научно-

техническое издание. – 2014. – № 5 (29). – URL: <http://engjournal.ru/articles/1225/1225.pdf>.

5. Мынбаев К.Д. Технические применения светодиодных устройств: учеб. пособие. – СПб.: НИУИТМО, 2016. – 54 с.

6. ГОСТ 1 00533-87. Система внутрикабинной сигнализации самолетов и вертолетов. Общие требования. – Введ. 01.07.88. – URL: [https://standartgost.ru/g/OST\\_1\\_00533-87](https://standartgost.ru/g/OST_1_00533-87).

7. Луизов А.В. Цвет и свет. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 256 с.

### REFERENCES

- Shubert F.E. *Svetodiody*. Per. s angl. pod red. A.E. Iunovicha. 2-e izd. [Light-Emitting Diodes. Translated from Engl., edited by A.E. Iunovich, the 2nd Edition]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2008. 496 p.
- Kogan L.M. *Poluprovodnikovye svetoizluchaiushchie diody* [Semiconductor Light-Emitting Diodes]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 208 p.
- Kobayashi S., Mikoshiba S., Lim S. *LCD Backlights*. John Wiley & Sons, Ltd, 2009. 279 p.
- Dadonov V.A., Bondar A.A. Analiz razvitiia i sovremennogo sostoianiiia rynka svetotekhniki [Analysis of Development and Current Situation on the Lighting Engineering Market]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii: elektronnoe nauchno-tekhnicheskoe izdanie* [Engineering Journal: Science and Innovation. Electronic Science and Engineering Publication], 2014, no. 5 (29).
- Mynbaev K.D. *Tekhnicheskie primeneniia svetodiodnykh ustroystv. Ucheb. posobie* [The Engineering Applications of Light-Emitting Devices. Tutorial]. St. Petersburg, NIUITMO Publ., 2016. 54 p.
- OST 1 00533–87. *Sistema vnutrikabinnoi signalizatsii samoletov i vertoletov. Obshchie trebovaniia* [Organizational Standard OST 1 00533–87. Internal Signal System of Aircrafts and Helicopters. General Requirements]. 11 p. Entry Date July 01, 1988. UDC 629.7.0.
- Luizov A.V. *Tsvet i svet* [Color and Light]. Leningrad, Energoatomizdat. Publ., 1989. 256 p.