

Определение вероятности обнаружения цветных объектов на цветных фонах на основе статистической модели порогового цветового зрения человека

Г.В. БООС

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: BoosGeorV@mpei.ru

Аннотация

На основе статистической модели порогового цветового зрения человека получено новое выражение для расчёта вероятности обнаружения цветных объектов на цветных фонах. Показано, что в области дневного зрения эта вероятность полностью определяется критерием принятия человеком решения о наличии объекта, функциями сложения колориметрической системы $K3C$, спектральными плотностями энергетической яркости объекта и фона и угловыми размерами объекта.

Ключевые слова: зрительная система человека, теория статистических решений, оптимальный приёмник, вероятность обнаружения, прямая и обратная задачи.

1. Введение и постановка задачи

Существующие теории цветового зрения направлены на объяснение психофизических аспектов цветового восприятия [1], в частности, такого экспериментально установленного факта, как возможность человека зрительно уравнивать цвета. Теорий, объясняющих причины существования порогов цветоразличения и позволяющих рассчитывать вероятность обнаружения цветных объектов человеком, в существующих публикациях не обнаружено.

Следует отметить, что современные методы расчёта цветовых порогов обнаружения базируются на эмпирическом подходе, который не объясняет причины возникновения порогов цветоразличения. Поскольку в [2–4] доказана эффективность применения теории статистических решений для расчёта порогов обнаружения одноцветных изображений, то естественным можно считать обобщение статистического подхода на процессы обнаружения цветных объектов, т.е. разработку статистической теории порогового цветового зрения для задач обнаружения объектов зрительной системой человека.

Поскольку использование статистического подхода базируется на спектральной чувствительности приёмников излучения, а наиболее обоснованной теорией цветового зрения является трёхкомпонентная теория Юнга-Гельмгольца [1], то разработку статистической теории целесообразно вести на базе физиологической колориметрической системы $K3C$. Кроме фундаментальности, такой подход имеет и чисто практическое значение. При создании новых осветительных приборов, для оценки качества их цветопередачи Международная комиссия по освещению (МКО) рекомендует использовать общий индекс цветопередачи R_a [5]. Согласно [6, 7], расчёты общего индекса цветопередачи проводятся в равноконтрастной системе МКО 1964 $U^*V^*W^*$. Особенностью этих расчётов R_a яв-

ляется то, что для исключения систематической ошибки, возникающей за счёт разной цветовой адаптации зрительной системы (ЗС) к эталонному и исследуемому источникам света, используются коэффициенты фон Криса, расчёт которых проводится в колориметрической системе $K3C$. Поскольку расчёт координат цвета ведётся по классическим выражениям [6, 7]:

$$\bar{E} = \int_{380}^{780} L_{e\lambda}(\lambda) \bar{\xi}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где $\bar{E} = \{K, Z, C\}$, $L_{e\lambda}(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости, λ – длина волны излучения, то погрешность в определении функций сложения $\bar{\xi}(\lambda) = \{\bar{k}(\lambda), \bar{z}(\lambda), \bar{c}(\lambda)\}$ неизбежно отражается на достоверности получаемых значений общего индекса цветопередачи.

Как было показано в [8], классические методы определения удельных координат цвета колориметрической системы $K3C$, основанные на использовании экспериментов с дихроматами, приводят к непредсказуемым погрешностям при определении этих функций, поэтому актуальной становится проблема определения ординат кривых сложения для человека с нормальным зрением в условиях естественной адаптации глаза. Первым обязательным этапом решения этой проблемы является решение прямой задачи: при заданных удельных координатах цвета колориметрической системы $K3C$ получить расчётные выражения для вероятности обнаружения цветных объектов на цветных фонах. Поскольку такие вероятности могут быть получены в результате экспериментальных исследований органа зрения, то решая обратную задачу одним из известных математических методов, можно получить удельные координаты цвета колориметрической системы $K3C$ для человека с нормальным цветовым зрением. Данная работа посвящена решению прямой задачи, в которой функции сложения колориметрической системы $K3C$ предполагаются известными.

2. Метод решения сформулированной задачи

В работах [2–4] подробно рассмотрены возможности описания пороговых характеристик зрительной системы человека на основе статистического подхода. Основные ограничения предлагаемого в указанных работах метода состоят в его применимости только для низких уровней яркости адаптации и для наблюдения одноцветных изображений, когда работает только палочковый аппарат зрительной системы. Первые успешные попытки применить

статистический подход для объяснения цветовых порогов зрительной системы были предприняты в [9, 10], однако при этом была решена только задача порогового обнаружения монохроматических объектов на белом фоне. Получение расчётных выражений для вероятности обнаружения произвольных цветных объектов на цветных фонах требует дополнительного исследования.

Применительно к решению задач обнаружения зрительной системой человека одноцветных изображений структурная схема математической модели ЗС на базе оптимального статистического приёмника [11] приведена в [4, рис. 1]. Принципиальное отличие математической модели порогового цветового зрения (ММПЦЗ) от приведённой в [4] состоит в наличии трёх типов приёмников (K , Z и C) с реакциями μ_{ki} , μ_{zi} , μ_{ci} и нелинейной зависимостью этих реакции от яркости адаптации.

Согласно структурной схеме, в поле зрения человека может находиться либо изображение цветного объекта на цветном фоне, либо изображение только цветного фона, отличающееся по цветности и яркости от изображения объекта. Случайные выходные сигналы K , Z и C рецепторов (μ_{ki} , μ_{zi} , μ_{ci}) передаются по волокнам зрительного нерва в мозг человека, который представлен на структурной схеме памятью, устройством анализа (УА) и устройством принятия решения (ПУ), которое выдаёт ответ о наличии или отсутствии объекта в поле зрения человека.

Согласно теории оптимального статистического приёмника [4, 11], на которой базируется ММПЦЗ, устройство анализа (УА) вычисляет одномерную функцию отношения правдоподобия (Λ), равную отношению вероятности ($P[Y/S]$) возникновения на выходе матрицы приёмников излучения (ПИ) случайных двумерных распределений сигналов μ_{ki} , μ_{zi} , μ_{ci} (случайной реализации Y) при условии появления в поле зрения человека исследуемого цветного объекта на цветном фоне, к вероятности возникновения ($P[Y/0]$) той же реализации Y при условии появления в поле зрения цветного фона без объекта.

$$\Lambda = \frac{p}{q} \frac{P[Y/S]}{P[Y/0]} \quad (2)$$

где p , q – априорные вероятности появления объекта и фона ($p + q = 1$).

Устройство принятия решения (пороговое устройство ПУ) принимает решение о наличии цветного объекта на цветном фоне в поле зрения всякий раз, когда вычисленное значение Λ превышает некоторое пороговое значение Λ_n . В ином случае, оно принимает решение о наличии в поле зрения фона без объекта. Такой алгоритм работы оптимального приёмника позволяет использовать результаты, полученные в предыдущей работе для задачи обнаружения одноцветных объектов [4], к анализу работы математической модели порогового цветового зрения.

Используя результаты работы [4], несложно получить для закона распределения ($P[Z]$) выражение для определения логарифма отношения правдоподобия (Z) в задачах расчёта вероятности обнаружения цветного объекта на цветном фоне:

$$P[Z] = \frac{1}{2\pi\sigma_\Lambda} \exp\left(-\frac{(Z - m_\Lambda)^2}{2\sigma_\Lambda^2}\right) \quad (3)$$

$$\text{где } Z = \ln \Lambda = \sum_{i=1}^N \mu_i \ln\left(\frac{X_{oi}}{X_{\phi i}}\right) - \sum_{i=1}^N (X_{oi} - X_{\phi i}),$$

μ_i – совокупность случайных выходных сигналов приёмника излучения (ПИ): μ_{ki} , μ_{zi} , μ_{ci} ; X_{oi} , $X_{\phi i}$ – математические ожидания выходного сигнала i -го ПИ матрицы при условиях наблюдения цветного объекта на цветном фоне и, соответственно, цветного фона без объекта.

Для статистически независимых ПИ несложно получить [4] выражения для математического ожидания m_Λ и дисперсии σ_Λ^2 логарифма отношения правдоподобия при условии, что в поле зрения человека находится объект:

$$m_\Lambda = \sum_{i=1}^N X_{oi} \ln\left(\frac{X_{oi}}{X_{\phi i}}\right) - \sum_{i=1}^N (X_{oi} - X_{\phi i}), \quad (4)$$

$$\sigma_\Lambda^2 = \sum_{i=1}^N X_{oi} \ln^2\left(\frac{X_{oi}}{X_{\phi i}}\right),$$

где N – количество КЗС приёмников в матрице ПИ.

Поскольку оптимальный приёмник принимает решение о наличии объекта, если $\Lambda \geq \Lambda_n$, то, учитывая монотонность логарифмической функции, при условии нахождения объекта в поле зрения человека вероятность правильного обнаружения определится интегрированием условного закона распределения $\ln(\Lambda)$ по области значений $\ln(\Lambda)$ от $\ln(\Lambda_n)$ до бесконечности:

$$P_{об} = \frac{1}{2\pi\sigma_\Lambda} \int_{\ln \Lambda_n}^{\infty} \exp\left(-\frac{(Z - m_\Lambda)^2}{2\sigma_\Lambda^2}\right) dZ = \Phi(y), \quad (5)$$

$$y = \frac{m_\Lambda - \ln \Lambda_n}{\sigma_\Lambda}, \quad (6)$$

где $\Phi(y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^y e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятности [12].

Согласно [13], с ростом яркости отношение частоты импульсов «тока действия» на выходе рецепторов зрительной системы к потоку фотонов, падающему на рецепторы, уменьшается, поэтому эффективный коэффициент преобразования, использованный в [4] при определении закона распределения сигналов рецепторов, будет много меньше единицы и при яркостях, характерных для дневного зрения. Это позволяет использовать закон распределения Пуассона для описания реакций рецепторов и в ММПЦЗ. В этом случае, при $p = q$ выражение для отношения правдоподобия [2] примет вид:

$$\Lambda = \prod_{i=1}^N \left(\frac{X_{oi}}{X_{\phi i}}\right)^{\mu_i} \exp(-(X_{oi} - X_{\phi i})). \quad (7)$$

Как уже отмечалось, цветовое зрение человека связано с наличием в зрительной системе трёх типов рецепторов с выходными сигналами μ_{ki} , μ_{zi} , μ_{ci} , образующими μ_i , поэтому необходимо ввести эти сигналы в расчётное выражение в явном виде. При статистически независимых (в пороговых условиях) ПИ сгруппируем (аналогично [10])

реакции K , $З$ и $С$ рецепторов. Тогда выражение (7) для отношения правдоподобия примет вид:

$$\Lambda = \prod_{i=1}^n \left(\frac{X_{оки}}{X_{фки}} \right)^{\mu_{ки}} \left(\frac{X_{ози}}{X_{фзи}} \right)^{\mu_{зи}} \left(\frac{X_{оци}}{X_{фци}} \right)^{\mu_{ци}} \exp\left(- (X_{оки} - X_{фки}) - (X_{ози} - X_{фзи}) - (X_{оци} - X_{фци})\right), \quad (8)$$

где n – число КЗС триад в общем числе N приёмников модели, а $X_{оки}, X_{ози}, X_{оци}, X_{фки}, X_{фзи}, X_{фци}$ – условные математические ожидания выходных сигналов K , $З$ и $С$ рецепторов при наличии в поле зрения объекта и фона соответственно.

Прологарифмировав левую и правую части, получим выражение для $\ln(\Lambda)$ в виде:

$$\ln(\Lambda) = \ln\left(\prod_{i=1}^n \Lambda_k \Lambda_z \Lambda_c\right) = \ln(\Lambda_k) + \ln(\Lambda_z) + \ln(\Lambda_c), \quad (9)$$

где $\Lambda_k, \Lambda_z, \Lambda_c$ – частные отношения правдоподобия, вычисленные для реакций K , $З$ и $С$ рецепторов;

$$\Lambda_\xi = \prod_{i=1}^n \left(\frac{X_{о\xi i}}{X_{\xi i}} \right)^{\mu_{\xi i}} \exp\left(- (X_{о\xi i} - X_{\xi i})\right), \quad \xi = \{k, z, c\}. \quad (10)$$

Таким образом, вероятность обнаружения по цветности или по яркости объекта на цветном фоне определится выражениями (5) – (6), в которых параметры закона распределения $\ln(\Lambda)$ определяются выражениями:

$$m_\Lambda = m_{\Lambda_k} + m_{\Lambda_z} + m_{\Lambda_c}, \quad \sigma_\Lambda^2 = \sigma_{\Lambda_k}^2 + \sigma_{\Lambda_z}^2 + \sigma_{\Lambda_c}^2, \quad (11)$$

где

$$m_{\Lambda_\xi} = \sum_{i=1}^N X_{о\xi i} \ln\left(\frac{X_{о\xi i}}{X_{\xi i}}\right) - \sum_{i=1}^N (X_{о\xi i} - X_{\xi i}), \quad (12)$$

$$\sigma_{\Lambda_\xi}^2 = \sum_{i=1}^N X_{о\xi i} \ln^2\left(\frac{X_{о\xi i}}{X_{\xi i}}\right), \quad \xi = \{k, z, c\}.$$

3. Определение зависимости реакции рецепторов ММПЦЗ от визируемой яркости

Для получения расчётного выражения для вероятности обнаружения цветных объектов необходимо установить зависимость выходной реакции приёмников математической модели от визируемой яркости. Нетривиальность данной задачи связана с сильной нелинейностью рецепторов в области дневного зрения ($L_v \geq 10$ кд/м²), т.е. с нелинейной зависимостью частоты импульсов «тока действия» в волокнах зрительного нерва [13] от потока фотонов. Это приводит к тому, что фотометрический контраст наблюдаемых объектов отличается от контраста сигналов на выходе ПИ математической модели. В [3, 10] приведена важная зависимость реакций ПИ от

визируемой яркости, однако она получена при наличии только одного типа рецепторов, что недостаточно для модели цветового зрения и нуждается в дополнительном обосновании.

Один из основных принципов колориметрии утверждает, что в области дневного зрения цветность объектов постоянного спектрального состава не зависит от яркости объектов при изменении последней в широких пределах [7]. Согласно выражению (1), реакции K , $З$ и $С$ рецепторов (X_k, X_z, X_c) пропорциональны координатам цвета физиологической колориметрической системы КЗС. Из этого следует:

$$\frac{X_k}{X_k + X_z + X_c} = \xi \rightarrow X_\xi = \xi X, \quad \xi = \{k, z, c\}, \quad (13)$$

где $X = X_k + X_z + X_c$ – сумма реакций K , $З$, $С$ рецепторов, зависящая от яркости фона, а k, z, c – не зависящие от яркости координаты цветности.

Используя (13), можно установить связь контраста на выходе рецепторов $K_R = \Delta X/X$ с фотометрическим контрастом $K = \Delta L_v/L_v$:

$$K_R = \frac{X_{ок} + X_{оз} + X_{оц} - X_{фк} - X_{фз} - X_{фс}}{X_{фк} + X_{фз} + X_{фс}}, \quad (14)$$

где $X_{ок}, X_{оз}, X_{оц}$ и $X_{фк}, X_{фз}, X_{фс}$ – математические ожидания выходных реакций любого K , $З$ и $С$ рецептора, визирующего область внутри контура объекта при условии визирувания цветного объекта на фоне и только цветного фона, соответственно.

С учётом (13) несложно получить:

$$K_R = \frac{X_o - X_\phi}{X_\phi}, \quad (15)$$

где X_o, X_ϕ – суммы математических ожиданий сигналов приёмников при условии визирувания объекта и фона, соответственно.

Стандартные объекты, которые используются в колориметрии, имеют угловые размеры от 2 до 10 градусов. При таких угловых размерах и яркости адаптации большей, чем 10 кд/м², значения пороговых яркостных контрастов при любой цветности фона и объекта, так же как значения контрастов сигналов на выходе рецепторов, много меньше единицы [7].

Это позволяет в выражении (15) ограничиться двумя членами разложения функции $X_o(L)$ в ряд Тейлора [12] в окрестности $X=X_\phi$. Тогда:

$$K_R = \frac{dX}{dL_v} \frac{\Delta L_v}{X} = \frac{dX}{dL_v} \frac{L_v}{X} K. \quad (16)$$

Использование данного выражения в ММПЦЗ позволяет получить дифференциальное уравнение для зависимости $X(L_v)$. Преобразуем выражения (12) для m_Λ и σ_Λ^2 , воспользовавшись разностью сигналов приёмников (ΔX_i), визирующих объект и фон:

$$m_{\Lambda} = \sum_{i=1}^n (X_i + \Delta X_i) \ln \left(1 + \frac{\Delta X_i}{X_i} \right) - \sum_{i=1}^n \Delta X_i, \quad (17)$$

$$\sigma_{\Lambda}^2 = \sum_{i=1}^n (X_i + \Delta X_i) \ln^2 \left(\frac{X_i + \Delta X_i}{X_i} \right).$$

Разложив в (17) логарифмы в ряды Тейлора в окрестности единицы, ограничимся двумя членами разложения и рассмотрим часто встречающийся при проведении экспериментов случай наблюдения равноярких объектов на равномерном фоне. При этих условиях, вне контура объекта $\Delta X_i = 0$, а внутри него разность сигналов приёмников имеет постоянную величину ΔX . В пределах контура объекта X_i также не зависит от номера приёмника и равно X , поэтому выражения (17) упрощаются:

$$m_{\Lambda} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta X_i)^2}{X_i} = \frac{1}{2} t \frac{(\Delta X)^2}{X}, \quad (18)$$

$$\sigma_{\Lambda}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(\Delta X_i)^2}{X_i} = t \frac{(\Delta X)^2}{X},$$

где t – число ПИ, визирующих область пространства внутри контура объекта.

При малых перепадах ΔX , характерных для пороговых контрастов объектов большого углового размера, её можно выразить через производную от искомой зависимости реакции приёмника X от яркости фона L_v в виде $\Delta X = \Delta L_v dX/dL_v$, где ΔL_v – перепад яркости объект – фон. Тогда выражение (6) для аргумента интеграла вероятности, определяющего вероятность обнаружения объекта, примет вид:

$$y = \frac{m_{\Lambda} - \ln \Lambda_{\Pi}}{\sqrt{2m_{\Lambda}}}. \quad (19)$$

Согласно экспериментальным исследованиям яркостных пороговых контрастов [7], при угловых размерах объектов, больших чем 2° , и яркостях фона, больших, чем 10 кд/м^2 , выполняется закон Вебера-Фехнера, т.е. при изменении яркости фона пороговый контраст остаётся постоянным. Это означает, что вероятность обнаружения также не зависит от яркости фона, а значит производная $dy/dL_v = 0$. Поскольку в пороговых условиях ($P_{об} = 0,5$) аргумент интеграла вероятности равен нулю [12], то из выражения (19) получается дифференциальное уравнение для зависимости X от яркости L_v :

$$\frac{t}{2} \frac{d}{dL_v} \left[K^2 \left(\frac{dX}{dL_v} L_v \right)^2 / X \right] = 0. \quad (20)$$

Поскольку фотометрический контраст $K = \Delta L_v / L_v$ в области Вебера-Фехнера не зависит от яркости, то решением является функция квадратичного логарифма от яркости:

$$X = C_1 \ln^2 (C_2 L_v), \quad (21)$$

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные интегрирования, не зависящие от яркости.

С учётом, полученный результат позволяет сделать вывод о том, что нелинейность всех трёх типов колбочек одинакова и определяется выражением (21) с разными значениями C_1 и совпадающими значениями C_2 .

4. Расчётное соотношение для вероятности обнаружения цветного объекта на цветном фоне

Вероятность обнаружения цветного объекта на цветном фоне определяется выражениями (5) и (6). Выражение (6) для аргумента интеграла вероятности можно преобразовать с учётом (11) и (18) к следующему виду:

$$y = \frac{\sum_{\xi} P_{\xi} - \ln \Lambda_{\Pi}}{\sqrt{2 \sum_{\xi} P_{\xi}}}, \quad P_{\xi} = \frac{t (\Delta L_{\xi} dX_{\xi} / dL_{\xi})^2}{2X_{\xi}}, \quad \xi = \{k, z, c\}. \quad (22)$$

С учётом полученной зависимости реакций ПИ от яркости (21), составляющие P_j выражения (22) примут вид:

$$P_{\xi} = 2t C_{1\xi} \left(\frac{\Delta L_{\xi}}{L_{\xi}} \right)^2, \quad (23)$$

где, согласно [7],

$$L_{\xi} = 683 \beta_{\xi} \int_{380}^{780} L_{e\lambda}(\lambda) \bar{\xi}(\lambda) d\lambda, \quad (24)$$

$$\Delta L_{\xi} = 683 \beta_{\xi} \int_{380}^{780} (L_{e\lambda>}(\lambda) - L_{e\lambda}(\lambda)) \bar{\xi}(\lambda) d\lambda, \quad (25)$$

$L_{e\lambda o}(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости объекта, $L_{e\lambda}(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической яркости фона, β_{ξ} – яркостные коэффициенты колориметрической системы КЗС, $\xi = \{k, z, c\}$, $\bar{\xi}(\lambda) = \{\bar{k}(\lambda), \bar{z}(\lambda), \bar{c}(\lambda)\}$, C_{1k} , C_{1z} , C_{1c} – постоянные, не зависящие ни от спектра объекта и фона, ни от углового размера объекта.

Если ввести телесные углы объекта Ω и мгновенного поля зрения ω любого ПИ, то число K , Z , C триад приёмников в матрице ПИ, визирующих область внутри контура объекта, определится выражением:

$$t = \frac{\Omega}{3\omega}. \quad (26)$$

Формулы (22) – уже полностью определяют расчётное выражение для y .

5. Выводы

Применение теории оптимального статистического приёмника к процессам обнаружения цветного объекта на цветном фоне позволило получить расчётное выражение для вероятности его обнаружения, которое показало, что:

1. Яркостные коэффициенты основных цветов колориметрической системы КЗС не влияют на вероятность обнаружения цветных объектов на цветном фоне. Для обнаружения цветных объектов определяющим является влияние функций сложения колориметрической системы КЗС, причём максимальные значения функций сложения также не влияют на вероятность обнаружения.

2. При известных функциях сложения, вероятность обнаружения цветных объектов на цветном фоне однозначно определяется величиной A_n , спектральными распределениями яркости по поверхностям объекта и фона и угловыми размерами объекта.

3. Постоянные коэффициенты математической модели (в том числе и критерий принятия человеком решения, определяемый величиной $\ln(A_n)$) не зависят от углового размера объекта и спектрального распределения яркости по объекту и фону и могут быть определены при нормировке математической модели.

4. Полученное выражение позволяет проводить расчёты вероятности обнаружения цветных объектов на цветных фонах при произвольных спектрах (цветностях) объектов и фонов, однако для решения с помощью выражений (5) и (22) – (26) обратной задачи нахождения значений $\bar{k}(\lambda)$, $\bar{\alpha}(\lambda)$, $\bar{c}(\lambda)$ по результатам экспериментальных исследований вероятности обнаружения цветных объектов требуется разработка специальной методики проведения эксперимента и создание соответствующей установки для экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джэдд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Изд-во Мир, 1978. – 592 с.
2. Григорьев А.А. Применение теории статистических решений к расчёту вероятностных и пороговых характеристик органа зрения // Светотехника. – 2000. – № 6. – С. 23–25.
3. Григорьев А.А. Статистическая теория восприятия изображений в оптико-электронных системах визуализации: 05.11.07– Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы: Авторефе-

рат доктора технических наук / М.: Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ), 2001. – 40 с.

4. Боос Г.В., Григорьев А.А. Новый подход к определению качественных характеристик установок наружного освещения // Светотехника. – 2015. – № 6. – С. 21–26.

5. ГОСТ 23198–94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик.

6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006. – 972 с.

7. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов: ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 450 с.

8. Боос Г.В., Григорьев А.А. О координатах цветности основных цветов колориметрической системы КЗС // Светотехника. – 2016. – № 3. – С. 30–34.

9. Гордюхина С.В., Григорьев А.А. Метод определения чувствительности КЗС рецепторов на основе статистической модели органа зрения // Вестник МЭИ. – М.: Издательский дом МЭИ. – 2010. – № 2. – С. 174–178.

10. Григорьев А.А., Гордюхина С.В. Определение удельных координат цвета физиологической системы // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 1. – С. 44–47.

11. Шестов Н.С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех. М.: Советское радио, 1967. – 348 с.

12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1978. – 832 с.

13. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов: ч. 1, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1979. – 368 с.



Боос Георгий Валентинович, кандидат техн. наук. Окончил в 1986 г. МЭИ. Президент холдинга VL Group. Заведующий кафедрой «Светотехника» ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». Лауреат Государственной премии РФ за архитектурное освещение Москвы. Председатель редколлегии журнала «Светотехника»

Inventronics значительно улучшила защитные функции управляющих устройств

Компания *Inventronics* пополнила свои управляющие устройства (УУ) постоянного тока для светодиодов серии «EDC», рассчитанные на индийский рынок и другие рынки с высокими требованиями к мощности. Эти УУ обеспечивают защиту от низкокачественного питающего напряжения и снижают расходы на техобслуживание.

Новые УУ компании *Inventronics* мощностью 100 Вт, пополнившие собой УУ постоянного тока серии «EDC-100», специально сконструированы так, чтобы выдерживать временные повышения входного напряжения до 440 В переменного тока.

УУ серии «EDC-100» имеют одну из лучших на рынке входную защиту, способную противостоять опасным режимам работы, таким как частые перегрузки по напряжению или питание от источника резервного питания, обеспечивая при этом надёжное и экономически выгодное решение проблемы. Они обес-



печивают высокоуровневую защиту, включающую в себя защиту от повышенного и пониженного входного напряжения.

Эти изделия сертифицированы на соответствие требованиям американских, европейских и южнокорейских стандартов *BIS*, *CE*, *CCC*, *KS* и индийских стандартов *EESL*. Они имеют степень защиты оболочки *IP67* и компактные металлические корпуса, которые защищают их как от пыли и твёрдых частиц, так и от воды и влажности. Коэффициент гармонических искажений у изделий этой серии не превышает 10%.

В серию «EDC-100» входят три модели УУ постоянного тока, которые обеспечивают мощность 100 Вт при выходном токе 700–1050 мА и КПД до 0,91 при полной нагрузке. Расчётный срок службы этих УУ составляет 96000 ч при нормируемой максимальной рабочей температуре корпуса 70 °С. Они работают при входном напряжении 140–305 В переменного тока и могут использоваться как отдельно, так и в светильниках класса защиты от поражения электрическим током «I».

led-professional.com
30.10.2017