

УДК 621.328

## АЛГОРИТМЫ И МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.И. КОРНАГА, А.С. ОЛЕЙНИК, В.М. СОРОКИН, А.В. РЫБАЛОЧКА

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины  
пр. Науки, 41, 03028, Киев, Украина*

*Поступила в редакцию 3 февраля 2015*

Разработан макет осветительной системы и алгоритмы автоматического регулирования ее оптических параметров. Представлены результаты исследования алгоритмов авторегулирования цветовой температуры и яркости излучения.

*Ключевые слова:* светодиод, осветительная система, авторегулирование, цветовая температура.

### Введение

С появлением твердотельных источников света (светодиодов) возникла возможность создавать новые системы освещения, обеспечивающие высокое качество световой среды. Главными преимуществами светодиодов перед другими источниками света являются энергетическая эффективность и прикладная гибкость при разработке осветительных устройств с заданными характеристиками. Это позволяет создавать так называемые интеллектуальные осветительные системы, которые могут менять яркость, спектральный состав излучения (цветовую температуру), автоматически включаться и выключаться, изменять параметры освещения в автоматическом или ручном режимах, выполнять функции декоративного освещения и сигнализации.

При проектировании таких систем необходимо учитывать не только электрооптические и конструктивные особенности светотехнического устройства, но и влияние излучения, создаваемого этим устройством, на физиологические функции основных систем организма – зрительные, нервные, сердечнососудистые. При этом информация о природе процессов, протекающих в зрительной системе человека под действием светового излучения, приобретает особое значение. Результаты исследований в области физиологии глаза человека показывают наличие незрительного влияния видимого излучения на циркадную систему организма [1, 2]. Наличие в сетчатке глаза особого типа рецепторов, максимально чувствительных в спектральном диапазоне излучения 430–470 нм, вызывает сложную химическую реакцию при взаимодействии с этим излучением и приводит к уменьшению секреции гормона мелатонина или, к так называемому, циркадному эффекту [3–6]. Подавление гормона мелатонина (гормона сна или усталости) вызывает повышенную активность человека. В этом аспекте при проектировании интеллектуальных осветительных систем огромное значение имеет управление спектральным составом излучения в зависимости от внешних факторов – времени суток, условий производства, уровня освещенности естественного света и др. Такое многофункциональное использование оптического излучения видимого диапазона, наряду с обеспечением необходимой освещенности, позволяет также с учетом психофизиологического и биологического действия света влиять на формирование природного циркадного ритма [8–10].

## Способы реализации белого излучения

Для интеллектуальных систем освещения, построенных на основе светодиодов, существует ряд способов управления коррелированной цветовой температурой «белого» источника света [11]. Первый из них заключается в использовании двух люминофорных светодиодов (W/W) с белым свечением и разной коррелированной цветовой температурой. Такие системы обеспечивают относительную простоту построения и дешевизну, но могут излучать только «белый» свет определенной цветовой температуры в ограниченном спектральном диапазоне. На хроматической диаграмме цветности CIE 1931 (рис. 1, а), для примера, изображены точки значений цветových температур двух светодиодов (крайние точки) и возможные значения цветовой температуры, которые могут быть получены при смешении излучения от этих двух светодиодов. Из рисунка видно, что возможные значения цветовой температуры «белого» света лежат на прямой, которая не совпадает с кривой Планка.

Второй способ заключается в использовании RGB светодиодов [12], которые позволяют получить более широкий диапазон цветových температур белого света по сравнению с первым способом (рис. 1, б). Как видно из рисунка, в треугольник Максвелла попадает практически вся кривая Планка. Кроме этого, интеллектуальные осветительные системы, построенные на базе RGB светодиодов, благодаря возможности изменять цвет, позволяют реализовывать дополнительные функции сигнализации, декоративного освещения и др.

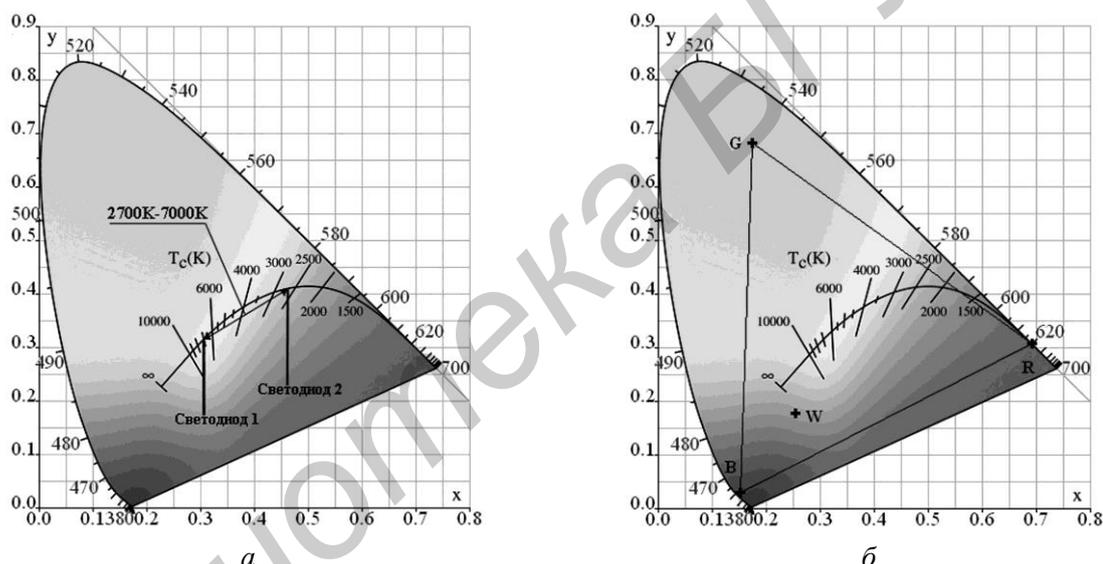


Рис. 1. Значения коррелированной цветовой температуры, которые возможно получить при использовании двух «белых» светодиодов (а) и RGB светодиодов (б)

Недостатком второго способа является низкий индекс цветопередачи белого света. Третий способ, рассмотренный в данной работе, устраняет этот недостаток добавлением белого люминофорного светодиода (система RGBW) или оранжевого (система RGBA). Такие системы, являясь более сложными в реализации и более дорогими, обладают широкими возможностями получения белого света различной цветовой температуры с высоким индексом цветопередачи, а также различных цветов излучения.

Независимо от типов светодиодов, на основе которых построена интеллектуальная осветительная система, необходимо выполнять стабилизацию и регулирование оптических параметров. Это вызвано тем, что светодиод в процессе работы изменяет свою яркость и коррелированную цветовую температуру. Изменение этих параметров зависит от температуры кристалла светодиода, деградации кристалла, изменения свойств люминофора, изменения прозрачности линз в процессе работы [13]. Стабилизация этих параметров, а также необходимость реализации дополнительных функций требует разработки алгоритмов и методов автоматического регулирования оптических характеристик таких интеллектуальных осветительных систем.

## Макет интеллектуальной осветительной системы

При разработке интеллектуальной осветительной системы были использованы RGBW светодиоды, которые позволяют существенно расширить функциональные возможности системы. При этом основными требованиями при разработке таких систем были: полное автономное функционирование осветительной системы по заданному алгоритму, автоматическое включение/выключение при появлении/удалении человека из зоны освещения или при достижении определенных уровней внешней освещенности, возможность ручного управления системой с помощью пульта дистанционного управления (ПДУ). Исходя из перечисленных выше требований, была разработана блок-схема интеллектуальной осветительной системы (рис. 2).

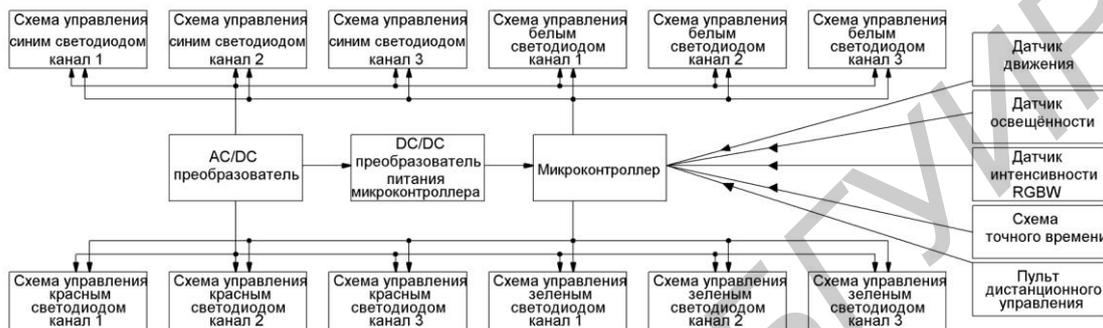


Рис. 2. Блок-схема интеллектуальной осветительной системы

Питание системы обеспечивается AC/DC и DC/DC преобразователями. Микроконтроллер является главным узлом системы, в котором реализуются алгоритмы по мониторингу сигналов с датчиков и пульта дистанционного управления, при этом синхронизация работы может осуществляться от встроенной системы отсчета реального времени. В микроконтроллере также реализуются алгоритмы авторегулирования яркости и коррелированной цветовой температуры. Микроконтроллер позволяет управлять каждым каналом формирования цветовых параметров. На рис. 3 изображен макет интеллектуальной осветительной системы. В качестве оптической системы используется комбинация двух пластиков – прозрачного с нанесенной на его тыльной стороне системой микролинз (используется как световод) и матового как рассеивателя. По периметру прозрачного пластика размещены светодиодные линейки с чередующимися RGB и W светодиодами, излучающими в торец. AC/DC, DC/DC преобразователи и управляющий блок вынесены на тыльную сторону светильника.



Рис. 3 Макет интеллектуальной осветительной системы

## Алгоритмы работы интеллектуальной осветительной системы

Согласно разработанному алгоритму (рис. 4), при включении интеллектуальной осветительной системы происходит определение даты и времени. В зависимости от месяца, дня



вводятся допустимые значения отклонения  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Если полученные значения находятся в диапазоне  $x \pm \Delta x$  и  $y \pm \Delta y$ , регулирование не выполняется. В противном случае процесс авторегулирования продолжается до выполнения предыдущего условия.

Одной из наиболее важных функций интеллектуального осветительного устройства является управление яркостью. Для получения максимально комфортного освещения ее целесообразно изменять на протяжении суток [16]. Регулировка яркости в процессе работы осуществляется в соответствии с концепцией пропорционального регулятора [17], алгоритм которого представлен на рис. 5, б. В начале процедуры авторегулирования выполняется сравнение излучаемой яркости (с датчика яркости) со значением яркости установленной пользователем. Чтобы оптимизировать число регулировок, вводится допустимое отклонение  $\Delta w$ . При выходе значения яркости за пределы диапазона  $w \pm \Delta w$ , происходит смена интенсивности излучения каждого светодиода (для электронной схемы этот процесс адекватен увеличению или уменьшению тока, протекающего через светодиоды, при использовании метода широтно-импульсной модуляции тока).

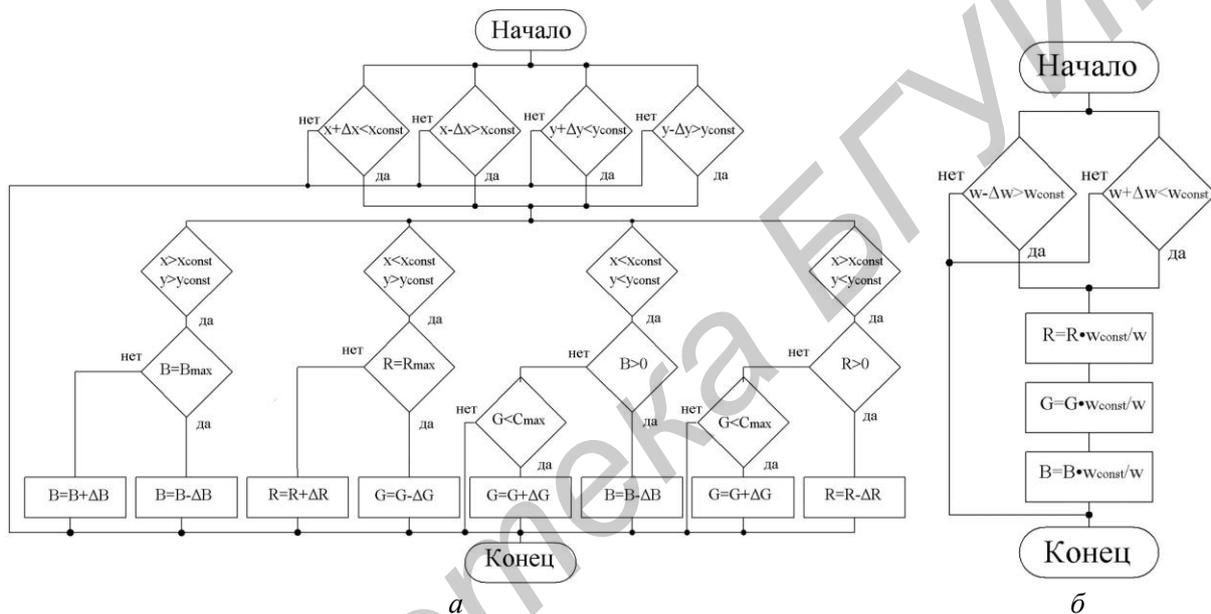


Рис. 5. Алгоритмы авторегулирования цветовой температуры (а), яркости излучения интеллектуальной осветительной системы (б)

Чтобы все регулировки, которые осуществляет система, производились незаметно для глаза пользователя, необходимо обеспечить плавное изменение яркости светодиодов, а также оптимальное согласование работы различных алгоритмов, исключающее возникновение ощутимых колебаний яркости.

### Результаты исследования разработанных алгоритмов

Для проверки работы алгоритмов и контроля оптических параметров интеллектуальной осветительной системы была использована интегрирующая сфера диаметром 2 м и спектрофотометр Instrument Systems CAS 140СТ.

В интегрирующую сферу монтировался макет интеллектуальной осветительной системы, управляемый с помощью ДПУ. На первой стадии устанавливался режим излучения «белого» света с цветовой температурой 7000 К. На протяжении 30 мин исследовалась динамика изменения координат цветности «x», «y» и цветовой температуры без включения алгоритмов автоподстройки. Время эксперимента выбиралось из условия стабилизации всех исследуемых параметров. По окончании эксперимента образец интеллектуальной осветительной системы отключался и охлаждался до комнатной температуры. Для анализа и сравнения работы осветительной системы с включенной системой автоподстройки цветовой температуры была включена автоподстройка и повторно проведено исследование на протяжении 30 мин. Полученная динамика смены координат цветности «x», «y» и цветовой

температуры (рис. 6) показывает, что без автоподстройки цветовой температуры идет плавный ее рост до 7200 K и стабилизация, а координаты «x» и «y» плавно уменьшаются. При включении автоподстройки цветная температура стабилизируется на уровне 7000 K и ее амплитудные значения практически не изменяются. Также изменения «y» координаты практически отсутствуют. Аналогично были проведены исследования алгоритма автоподстройки яркости (светового потока) излучения интеллектуальной осветительной системы.

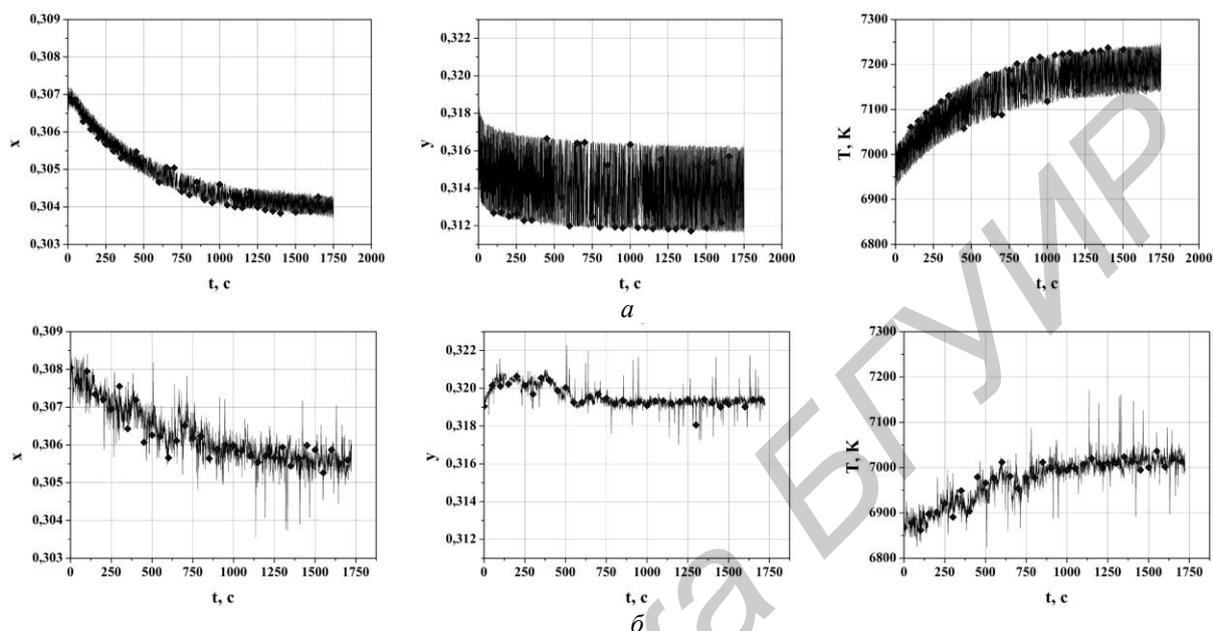


Рис. 6. Динамика изменения координат цветности и цветовой температуры интеллектуальной осветительной системы без автоподстройки (а) и с автоподстройкой (б)

Как видно из рис. 7 световой поток без автоподстройки с момента включения уменьшается на 9 %, а с автоподстройкой на 3 %. Стабилизация светового потока происходит в течение 4 мин при автоподстройке и 30 мин без автоподстройки яркости. На основании этого можно утверждать, что система с функцией автоподстройки яркости более стабильна в работе. Наличие коротких пиков отклонения большой амплитуды на 750 с указывает на незначительное перерегулирование. Это отклонения амплитуды можно уменьшить путем введением дополнительных условий при увеличении или уменьшении яркости светодиодов.

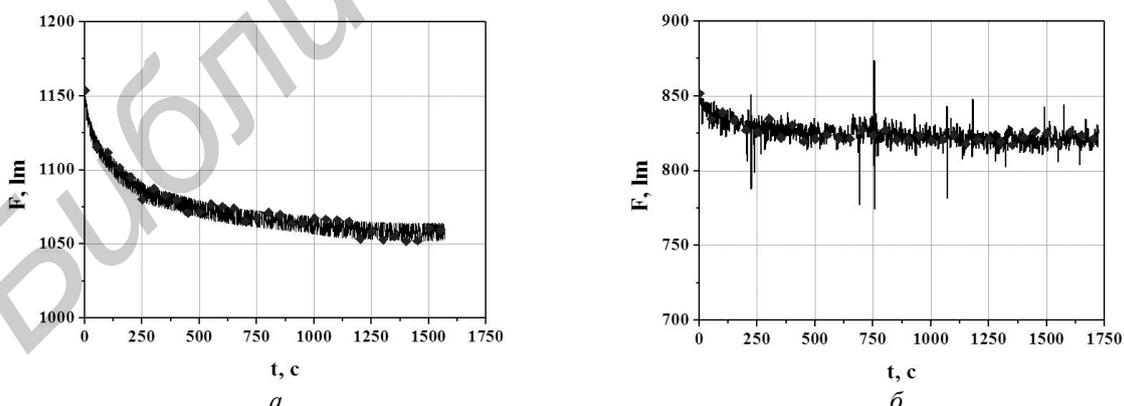


Рис. 7. Динамика изменения светового потока без автоподстройки (а) и с автоподстройкой (б)

### Заключение

Разработанная интеллектуальная осветительная система позволяет изменять цветовую температуру излучения в широком диапазоне и, как следствие, обеспечивает возможность оптимального влияния на циркадные ритмы организма человека.

Использование в интеллектуальной системе освещения RGBW-светодиодов с датчиками интенсивности излучения для каждого спектрального канала и разработанных алгоритмов автоматического регулирования цветовой температуры и яркости обеспечивает увеличение стабильности оптических параметров системы и возможность их автоматического или ручного регулирования.

Реализация автоподстройки яркости разработанной осветительной системы позволяет уменьшить время стабилизации светового потока и, как следствие, увеличить стабильность работы системы в целом.

## ALGORITHMS AND METHODS OF AUTOMATIC CONTROL OF LIGHTING SYSTEMS OPTICAL CHARACTERISTICS

V.I. KORNAGA, O.S. OLIINYK, V.M. SOROKIN, A.V. RYBALOCHKA

### Abstract

The prototype of lighting system and algorithms of automatic control of its optical parameters was developed. The results of the research of autoregulation colour temperature algorithms and brightness of the light were shown.

### Список литературы

1. *Berson D.M., Dunn F.A., Motoharu Takao* // Science. 2002. Vol. 295. P. 1070–1073
2. *Brainard C., Hanifin P., Jeffrey M.* // The Journal of Neuroscience. 2001. № 21. P. 14–20.
3. *Айзенберг Ю. Б., Шахпаруянц Г. Р.* // Светотехника. 2000. № 5. С. 2–4.
4. *Неровный В. Л., Хартман Р.* // Светотехника. 1999. № 2. С. 33–42.
5. *Абрамова Л. В., Амеликина С. А., Желуникова и др.* // Светотехника. 2001. № 3. С. 13–15.
6. *Ван Ден Бельд.* // Светотехника. 2003. № 1. С. 4–8.
7. *Brainard G.C.* //Fifth International LRO lighting research symposium. Orlando. November, 5, 2002. P. 129–137.
8. *Гусев Н.М., Данциг Н.М., Иванова Н.С. и др.* // Светотехника. 1973. № 2. С. 15–19.
9. *Брейнард К., Бернекер К.А.* // Светотехника. 1996. № 1–2. С. 10–13.
10. *Schubert, E.F., Kim, J.K.* // Science. 2005. Vol. 308. № 5726. P. 1274–1278
11. *Шуберт Ф.Е.* Светодиоды. М., 2008.
12. *Корнага В.И., Сорокин В.М., Олейник А.С. и др.* // Сб. тез. докл. 21-й Междунар. симп. «Передовые дисплейные и световые технологии». Москва, 9–12 апреля 2013. С. 71.
13. *Приказчик С.П.* //Светотехника и электроэнергетика. Харьков. 2008. № 4. С. 24–30
14. *Беспалов Н.Н., Ильин М. В., Григорович С. Ю.* // Электроника и информационные технологии. 2010. № 1. С. 4–8
15. Bruce Justin Lindbloom [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.brucelindbloom.com>. – Дата доступа: 10.01.2015.
16. *Van Vommel* // Proceedings 2nd CIE expert symposium «Lighting and Health» CIE Publication x031: Ottawa, September, 7–8, 2006. P. 62–67.
17. *Новиков В.П.* Автоматизация литейного производства. Часть 1. М., 2008.