

**Ю. Е. ХОРОШАЙЛО, И. Н. ЯРМАК, А. Д. МЕНЯЙЛО, А. В. СОВА, В. А. СВЕТИЧНЫЙ,
И. К. СЕЗОНОВА**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Предлагается устройство для измерения цветовых характеристик, которое с помощью измерительного преобразователя каждому излучению ставит в соответствие три сигнала, пропорциональных цветовых координат. Существующие устройства имеют очень много недостатков, среди которых малое быстродействие, вследствие использования инертных элементов, что делает невозможным измерения быстроизменяющихся световых потоков. В данном устройстве авторы попытались минимизировать недостатки. Также в данной статье предлагается математическая модель устройства. Уделено внимание психофизиологическому восприятию цвета.

Ключевые слова: измерение, устройство, цвет, фотодиоды, микроконтроллер, математическая модель, психофизиология зрения.

**Ю. Є. ХОРОШАЙЛО, І. М. ЯРМАК, О. Д. МЕНЯЙЛО, А. В. СОВА, В. А. СВІТЛИЧНИЙ,
І. К. СЕЗОНОВА**

ВИКОРИСТАННЯ ПОНЯТТЯ КОЛОРИМЕТРИЧНОЇ ФУНКЦІЇ В ПРИКЛАДНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Пропонується пристрій для вимірювання кольорних характеристик, яке за допомогою вимірювального перетворювача кожному випромінюванню ставить у відповідність три сигнали, пропорційних кольорних координат. Існуючі пристрої мають дуже багато недоліків, серед яких мала швидкість, в наслідок використання інертних елементів, що робить неможливим вимірювання швидкозмінних світлових потоків. У цьому пристрої автори спробували мінімізувати недоліки. Також в даній статті пропонується математична модель пристрою і приділено увагу психофізіологічному сприйняттю кольору.

Ключові слова: вимірювання, пристрій, колір, фотодиоди, мікроконтролер, математична модель, психофізіологія зору.

**Y. E. HOROSHAYLO, I. N. YARMAK, O. D. MENIAYLO, A. V. SOVA, V. A. SVETLICHNIY,
I. K. SEZONOVA**

APPLICATION OF THE CONCEPT OF COLORIMETRIC FUNCTIONS IN APPLIED RESEARCH

In this paper, the authors propose a device for measuring the color characteristics of light reflected or transmitted through an optical medium. The main element of this device is the measuring transducer, which assigns to each radiation three signals proportional to the color coordinates. Existing devices have many drawbacks, among which low speed, due to the use of inert elements, which makes it impossible to measure rapidly changing light fluxes. In this device, the authors tried to minimize these limitations by using photodiodes and a microcontroller with a built-in ADC and other devices. Also in this article, a mathematical model of the device is proposed. Attention is paid to psychophysiological perception of color. As a result, we found a device that has a number of advantages over its counterparts, which makes it possible to perform color measurement with higher accuracy. The aim of the work is to study the concept of colorimetric functions in applied research, it is very well shown how to use the colorimeter functions, in which studies, and in which areas. Also, the calculations of the optoelectronic colorimeter by the method of numerical experiment and the development of practical recommendations for improving the parameters are considered. The work has developed an optoelectronic colorimeter superior to analogues in the following parameters: measurement accuracy, ease of use, range for determining colors, simplicity of the device design, reliability, cost. Color measurement is necessary in various fields, for example, for color measurements, control and color management in industrial automation, household appliances, textile industry, service stations, printing, medicine, etc.

Keywords: measurement, device, color, photodiodes, microcontroller, mathematical model, psychophysiology of sight.

Введение. В последние годы, в связи с развитием цветного телевидения, мультимедийных программ для компьютеров, анимационных разработок, различных учебных программ и тренажеров существенно вырос интерес к средствам измерения цвета.

Приборы для измерения цвета применяются уже не одно десятилетие. Постепенно они завоевывают свое место и в повседневной практике. Прогресс в этой области зависит от разработки и производства новых аппаратов и методов измерения цвета с широкими операционными возможностями, недорогих и удобных в эксплуатации.

Одним из наиболее распространенных средств измерения цвета, применяемые в перечисленных выше областях, является электронный колориметр, так как он обладает следующими преимуществами – возможность экспресс контроля, простота в эксплуатации, высокая вероятность (точность) измерения. Возможности электронного колориметра значительно превосходят аналогичные параметры других приборов для измерения цвета.

Таким образом, дальнейшее изучение механизмов работы электронного колориметра, особенностей его применения, является актуальным и представляет значительный интерес, как для разработчиков этого типа устройств, так и для потребителей.

Вместе с тем нельзя не признать, и это постоянно отмечается исследователями, разработка средств и методов измерения цвета находится пока в стадии становления. Не вызывает сомнений необходимость расширения круга задач и ситуаций, как с точки зрения практических нужд, так и с целью накопления теоретического опыта.

Видение окружающего мира осуществляется в процессе зрительных ощущений и зрительного восприятия. В отличие от зрительного восприятия зрительные ощущения отражают лишь отдельные свойства предметов и явлений. Зрительное восприятие – это целостное отражение предметов и явлений, т.е. в совокупности их свойств, возникающее

при непосредственном воздействии физических раздражителей на рецепторные поверхности глаза. Оно представляет собой сложную деятельность зрительной анализаторной системы, включающую обработку визуальной информации (обнаружение объекта, различение и выделение его информативных признаков и воссоединение их в целостный зрительный образ), ее оценку (соотнесение воспринятого образа с перцептивными и вербальными эталонами), интерпретацию и категоризацию (принятие решения о классе, к которому относится объект) [1].

Развитие зрительного восприятия зависит от того, насколько слаженно и правильно функционируют его различные компоненты – зрительные ощущения или зрительные функции. Зрительные функции, будучи тесно связанными друг с другом, в психической деятельности образуют единое целое, именуемое актом зрения. Его физиологическая основа состоит в следующем: лучи света проходят через роговую оболочку глаза, хрусталик, стекловидное тело и достигают сетчатки. Роговая оболочка и хрусталик не только пропускают свет, но и преломляют его лучи, действуя как двояковыпуклая линза. Это позволяет собирать их в сходящийся пучок и направлять на сетчатку так, что на ней получается действительное, но инвертированное (перевернутое) изображение предметов. В колбочках и палочках, располагающихся в сетчатке, световая энергия преобразуется в нервные импульсы, которые проводятся по зрительным нервам в зрительные центры головного мозга. Здесь происходит превращение энергии нервного импульса в зрительное ощущение. В результате возникают ощущения формы, величины, цвета предметов, степени их удаленности от глаза и т.п. Функциональная способность сетчатки неравноценна на всем ее протяжении. Наиболее высока она в ее центральной части (центральная ямка желтого пятна), где сетчатка состоит из высоко дифференцированных рецепторов – колбочек. При рассматривании любого предмета глаз устанавливается таким образом, что изображение предмета всегда проецируется на область центральной ямки [2]. На остальной части сетчатки преобладают менее дифференцированные рецепторы – палочки: и чем дальше от центра проецируется изображение предмета, тем менее отчетливо оно воспринимается.

Зрение имеет двойственную природу: дневное зрение осуществляется колбочками, а ночное – палочками. Палочковый аппарат обладает высокой светочувствительностью, но не способен передавать ощущение цветности; колбочки обеспечивают форменное и цветовое зрение, но по сравнению с палочками заметно менее чувствительны к слабому свету и полностью функционируют только при хорошем освещении. В зависимости от степени освещенности можно выделить три разновидности функциональной способности глаза.

1. Дневное (фотопическое) зрение осуществляется колбочковым аппаратом глаза при большой интенсивности освещения. Оно характеризуется высокой остротой зрения и четким, адекватным восприятием цвета.

2. Сумеречное (мезопическое) зрение осуществляется палочковым аппаратом глаза при слабой степени освещенности (0,1–0,3 лк). Оно характеризуется низкой остротой зрения и ахроматическим (нецветным) восприятием предметов. Отсутствие цветоощущения при слабом освещении хорошо отражено в пословице «ночью все кошки серы».

3. Ночное (скотопическое) зрение также осуществляется палочками при очень низкой освещенности и сводится только к ощущению света.

Таким образом, двойственная природа зрения требует дифференцированного подхода к оценке зрительных функций. Следует различать центральное и периферическое зрение.

Центральное зрение характеризуется способностью человека различать форму, мелкие детали и цвет рассматриваемых предметов. Для распознавания предметов внешнего мира необходимо различать в них отдельные детали. Чем мельче детали различаемые глазом, тем выше его острота зрения. Под остротой зрения принято понимать способность человеческого глаза воспринимать раздельно точки, расположенные на минимальном расстоянии друг от друга. В связи с неравноценным распределением колбочек в сетчатке различные ее участки неравномерны по остроте зрения: по мере удаления от центра сетчатки острота зрения падает. Уже на расстоянии 10° от центра она равна 0,2 и еще более снижается к периферии. Нормальная острота зрения у большинства взрослых людей соответствует 1.

Максимальная спектральная чувствительность колбочек так называемого «стандартного наблюдателя» составляет 565 нм для красных колбочек, 540 нм для зеленых колбочек и 440 нм для синих колбочек, хотя по этому вопросу есть разногласия у разных авторов и у наблюдаемых индивидов. Необходимо отметить, что чувствительность палочек достигает максимума при 495 нм – прямо посередине между синими и зелеными колбами.

К хроматическим цветам относятся все тона и оттенки цветного спектра. Они характеризуются тремя качествами: 1) цветовым тоном (особенность цвета отличаться от других цветов спектра: синий, красный, желтый и др.); 2) насыщенностью, определяемой долей основного тона и примесей к нему серого, что определяет интенсивность цвета; 3) яркостью или светлотой цвета, степенью близости его к белому (светлые и более темные цвета). Различные комбинации этих характеристик дают множество оттенков хроматического цвета [3]. Человек в состоянии воспринимать около 180 цветовых тонов, а с учетом различий в яркости и насыщенности – более 13 тысяч.

Периферическое зрение играет большую роль в жизни человека: оно служит для ориентировки в пространстве, обладает высокой чувствительностью по отношению к движущимся объектам, обслуживает человека в условиях пониженного освещения. Обеспечиваемое периферическими отделами сетчатки периферическое зрение определяется величиной и конфигурацией поля зрения – пространства, которое воспринимается глазом (или глазами) при неподвижном взоре. Для ахроматических (не цветных) объектов нормальное поле зрения (при одновременном смотре обоими глазами) охватывает по горизонтали пространство в 180° , по вертикали – в 110° . Поле зрения каждого глаза имеет определенные границы: снаружи – 90° , книзу снаружи – 90° , книзу – 60° , книзу кнутри – 50° , кнутри – 60° , кверху кнутри – 55° , кверху – 55° и кверху снаружи – 70° . На обоих глазах границы поля зрения симметричны.

Биофизическая природа зрения основана на взаимодействии отдельных молекул (ретиноидов) с излучением. Эти молекулы являются производными ретинола (витамин А1), который отвечает за желто-оранжевую окраску сетчатки.

В палочках есть всего лишь один вид ретиноидов – родопсин, а в колбочках содержатся многие виды. В целом насчитывается более двенадцати различных видов, но из них выделяются четыре, особенно заметные в колбочках [4]. Это родопсином 5, 7 и 9 а также вещество, чувствительна к ультрафиолетовым волн – родопсин 11. Однако нужно отметить, что роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело поглощают большую часть ультрафиолетового излучения (УФ). Красные, зеленые и синие колбочки содержат смесь всех этих ретиноидов, но в каждом виде колб в большем количестве присутствует один вид ретиноидов, причем в пропорции в 1000 раз больше, чем все остальные.

В клетках колбочек и палочек есть тысячи мембранных дисков, образованных плазматическими складками и на которых 15 прикреплены длинными цепочками молекулы ретиноидов. Таким образом, образуется настоящее фрактальное пространство для улавливания света.

С точки зрения физики все рассмотренные молекулы похожи. Они состоят из семи длинных цепочек опсина окружающую небольшую, но особую молекулу – 11-цис-ретиноаль. Когда фотон сталкивается с такой молекулой, есть 50% -ная вероятность, что она (молекула) «развернется» и превратится в изомер – транс-ретиноаль.

В темноте 11-цис-ретиноаль прочно связан с белком опсин. Интересы фотона приводит к изомеризации 11-цис-ретиноаль в транс-ретиноаль. При этом комплекс опсин-транс-ретиноаль через несколько химических превращений достаточно быстро диссоциирует на опсин и транс-ретиноаль. Регенерация родопсина зависит от взаимодействия клеток пигментного эпителия и светочувствительных клеток. В случае ослепления родопсин

восстанавливается с зрительного пурпура, то есть с ретиноидов пигментного эпителия.

Это явление создает основу нервной информации. В темноте во внешних сегментах светочувствительных клеток протекает постоянный входной «темновой» ток [5]. В результате постоянный мембранный потенциал светочувствительных клеток составляет примерно – 40 мВ. Входной ток в темноте переносится в основном ионами натрия, 16 следующими вдоль электрохимического градиента через катионные каналы внешнего сегмента светочувствительных клеток. Под действием света катионные каналы закрываются. Таким образом, значение мембранного потенциала смещается к значению равновесного калиевого потенциала, составляет примерно – 80 мВ. Соответственно, возникают условия для появления и трансляции зрительного сигнала по аксонам нервных клеток.

Основная часть. В данной работе авторами предлагается устройство для измерения цветовых характеристик отражаемого или прошедшего через оптическую среду светового излучения [6].

Основным элементом данного устройства является измерительный преобразователь, который каждому излучению ставит в соответствие три сигнала, пропорциональных цветовых координатам.

Существующие устройства для измерения цветовых характеристик имеют ряд недостатков – малое быстродействие, вследствие использования инертных элементов, что даст невозможным измерение быстроизменяющихся световых потоков; недостаточная точность измерения светового потока, который имеет слабую мощность (слабоосвещенные объекты) вследствие низкой чувствительности фоторезисторов, невозможность разделения в пространстве измерительного преобразователя и устройства; невозможность непосредственного управления устройством вследствие осуществления органов управления и т.д.

В разработанном устройстве для измерения цветовых характеристик объектов, авторы попытались минимизировать вышеперечисленные недостатки за счет использования фотодиодов и микроконтроллера со встроенным АЦП, светодиодов эталонного освещения и метода измерения цвета, который состоит в определении интенсивности трех составных частей входного светового потока преобразовании этих данных в цифровой сигнал для последующего пересчета сигнала координаты цвета x и y для диаграммы цвета, что позволит однозначно характеризовать цвет объекта, расширение функциональных возможностей за счет добавления интерфейса управления прибором средства отображения информации, возможности сохранения информации на картах памяти и возможности использования прибора в автономном режиме без задействования ПК [7]. Работает устройство следующим образом: в цифровое устройство измерения цвета, который содержит три светофильтры, три светочувствительные элементы, нормировочный усилитель, микроконтроллер,

световой поток, проходя через светофильтры, попадает на светочувствительные элементы, которые соединены с входами нормируемых усилителей, согласно изобретению, как светочувствительные элементы используются фотодиоды, кроме того у него дополнительно введены два нормировочные усилителя, входы которых соединены с фотодиодами, а выходы с аналоговыми входами микроконтроллера, светодиоды эталонного освещения, которые подключены к выходам микроконтроллера, кнопки управления, которые подключены к входам микроконтроллера, жидкокристаллический индикатор, который подключен к выходам микроконтроллера и карта памяти, которая подключена к выходам микроконтроллера (рис.1).

Формально поставим следующую задачу [8]. В гильбертовом пространстве $L_2[a, b]$ задана система функций $u_1(x), \dots, u_n(x)$ требуется определить линейные комбинации с набором коэффициентов $\{\alpha_{ji}\} (i = 1, n, j = 1, 3)$, для которых различия между заданными кривыми $h_j(x)$ и линейными комбинациями

$$g_j(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x) \quad (1)$$

были минимальными.

UA 123485 U

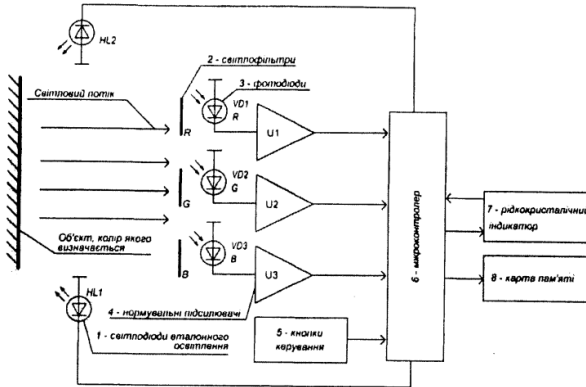


Рис. 1 – Цифровое портативное устройство измерения цвета

Авторами предлагается математическая модель устройства для измерения цвета [9].

Ясно, что при такой постановке в метрическом пространстве $L_2[a, b]$ мерой отклонения будет просто метрика этого пространства, то есть

$$\Delta = \int_a^b (g_j(x) - h_j(x))^2 dx \quad (2)$$

Для нахождения среднеквадратичного отклонения рассмотрим линейную комбинацию $\sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x)$, для которой

$$\int_a^b (h_j(x) - \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x)) f_m(x) dx = 0 \quad (3)$$

$m = 1, \dots, n$

Существование данной линейной комбинации вытекает из того, что коэффициент α_{ji} однозначно находится из системы линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ji} \int_a^b U_i(x) \cdot U_m(x) dx = \int_a^b h_j(x) U_m(x) dx \quad (4)$$

Нетрудно заметить, что матрица данной системы является матрицей Грана для набора функций $u_1(x), \dots, u_n(x)$, которые линейно независимы, следовательно, определитель ее не равен нулю. Несложно показать, что выражение (2) достигает своего минимума на этой линейной комбинации [10]. Действительно, для какой-либо другой линейной комбинации $\sum_{i=1}^n \alpha'_{ji} U_i(x)$ рассмотрим выражение (2) с учетом (3). Тогда получим

$$\begin{aligned} \int_a^b (h_j(x) - \sum_{i=1}^n \alpha'_{ji} U_i(x))^2 dx &= \\ &= \int_a^b (h_j(x) - \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x) + \sum_{i=1}^n (\alpha_{ji} - \alpha'_{ji}) U_i(x))^2 dx = \\ &= \int_a^b (h_j(x) - \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x))^2 dx + \\ &+ \int_a^b \left(\sum_{i=1}^n (\alpha_{ji} - \alpha'_{ji}) U_i(x) \right)^2 dx \geq \\ &\geq \int_a^b (h_j(x) - \sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x))^2 dx \end{aligned} \quad (5)$$

что свидетельствует о справедливости нашего утверждения.

Возьмем аппроксимацию интегралов системы (4) на произвольном множестве точек $(x_1, \dots, x_q) \in [a, b]$.

Тогда

$$\int_a^b U_i(x) \cdot U_m(x) dx = \sum_{k=1}^q U_i(x_k) \cdot U_m(x_k) \quad (6)$$

Обозначим

$$\sum_{k=1}^q U_i(x_k) \cdot U_m(x_k) = (U_i, U_m) \quad (7)$$

Тогда система (4) будет иметь вид

$$\begin{aligned} \alpha_{j1}(U_1, U_1) + \dots + \alpha_{jn}(U_n, U_1) &= (h_j, U_1) \\ \dots & \\ \alpha_{j1}(U_1, U_n) + \dots + \alpha_{jn}(U_n, U_n) &= (h_j, U_n) \end{aligned} \quad (8)$$

В этом случае минимальное значение Δ в выражении (2) будет определяться

$$\Delta = \sum_{k=1}^q (\sum_{i=1}^n \alpha_{ji} U_i(x_k) - h_j(x_k))^2 \quad (9)$$

С учетом того, что α_{ji} – решение системы (8) окончательно получим

$$\lambda = \frac{\begin{pmatrix} (U_1, U_1) & \dots & (U_n, U_1) & (h_j, U_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (U_1, U_n) & \dots & (U_n, U_n) & (h_j, U_n) \\ (h_j, U_1) & \dots & (h_j, U_n) & (h_j, h_j) \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} (U_1, U_1) & \dots & (U_n, U_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ (U_1, U_n) & \dots & (U_n, U_n) \end{pmatrix}} \quad (10)$$

Вывод. Полученные результаты подтверждают, что устройство разработанное авторами имеет ряд преимуществ перед своими аналогами, что позволяет осуществлять измерение цвета с более высокой точностью.

Список литературы

1. Богданович Л. Б., Бурьян В. А., Раутман Ф. И., *Художественное конструирование в машиностроении*. Киев: Техніка, 1976. 183 с.
2. Варламов Р. Г., Струков О. Д., *Элементы художественного конструирования и технической эстетики*. Москва: Советское радио, 1980. 96 с.
3. Лютов В. П., Четверкин П. А., Головастик Г. Ю., *Цветоведение и основы колориметрии : учебник и практикум для академического бакалавриата..* Москва: Юрайт, 2018. 222 с.
4. Браэм Г. *Психология цвета*. Москва: АСТ, Астрель, 2009. 158 с.
5. Мураховский В. И., Симонович С. В., *Большая книга цифровой фотографии*, Пемза: Питер, 2012. 304 с.
6. Чуркин А. В., Уварова Р. М., Шашлов А. Б., *Основы светотехники. Учебник* : Москва: МГУП, 2002. 310 с.
7. Шашлов Б. А. *Цвет и цветовоспроизведение*. Москва: МГАП, Мир книги 1995. 245 с.
8. Гуревич М. М., *Фотометрия (теория, методы, приборы)*. Ленинград: Энергоатомиздат 1983. 415 с.
9. Хорошайло Ю. Е., Семенов С. Г., Лимаренко В. В. Пат 107317, Украина, Цифровой датчик для измерения цвета. 2016.
10. Khoroshaylo E. Y., Sezonova I. K., *Colorimetry. Proceeding of COAL 2005 2nd International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers V2*. Yalta, 2005. 254p.

References (transliterated)

1. Bogdanovich L. B., Burian V.A., Rautman F.I. *Hudozhestvennoe konstruirovaniye v mashinostroenii* [Artistic design in mechanical engineering]. Kiev, Tehnika Publ., 1976. 183 p.
2. Varlamov R. G., Strukov O. D. *Elementy hudozhestvennogo konstruirovaniya i tehnicheckoy estetiki* [Elements of artistic design and technical aesthetics]. Moscow, Soviet Radio Publ., 1980. 96 p.
3. Lyutov V. P., Chetverkin P. A., Golovastikov G. Yu. *Tsvetovedeniye i osnovy kolorimetrii : uchebnyk i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata* [Color science and bases of colorimetry: a textbook and a practical work for academic baccalaureate]. Moscow, Yurayt Publ., 2018. 222 p.
4. Braham G. *Psihologiya tsveta* [Psychology of color]. Moscow, AST, Astrel, 2009. 158 p.
5. Murakhovsky V. I., Simonovich S. V. *Bolshaya kniga tsifrovoy fotografii* [The Big Book of Digital Photography]. Pemza, Peter Publ., 2012. 304 p.
6. Churkin A. V., Uvarova R. M., Shashlov A. B. *Osnovy svetotekhniki. Uchebnyk* [Fundamentals of lighting technology]. Moscow, MGUP Publ., 2002. 310 p.
7. Shashlov B. A. *Tsvet i tsvetovospriozvedeniye* [Color and color reproductions]. Moscow, MGAP, The World of the Book Publ., 1995. 245 p.
8. Gurevich M. M. *Fotometriya (teoriya, metody, pribory)* [Photometry (theory, methods, devices)]. Leningrad, Energoatomizdat 1983. 415 p.
9. Horoshajlo Yu. E., Semenov S. G., Limarenko V. V. Pat 107317, Ukraina. *Cifrovoy datchik dlya izmereniya cveta*. 2016.
10. Khoroshaylo E. Y., Sezonova I. K., *Colorimetry. Proceeding of COAL 2005 2nd International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers V2*. Yalta, 2005. 254 p.

Поступила (received) 01.11.19

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Хорошайло Юрий Евгениевич (Хорошайло Юрій Євгенійович, Horoshaylo Yuriy Evgeniyovich) – кандидат технічних наук, професор, Харківський Національний університет радіоелектроніки; м. Харків, Україна

Ярмак Иван Николаевич (Ярмак Іван Миколайович, Yarmak Ivan Mykolayovich) – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

Меняйло Александр Дмитриевич (Меняйло Олександр Дмитрович, Menyaylo Alexander Dmitrievich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський Національний університет радіоелектроніки; м. Харків, Україна

Сова Анна Васильевна (Сова Анна Василівна, Sova Anna Vasilevna) – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Харківський Національний університет радіоелектроніки; м. Харків, Україна

Светличный Виталий Анатольевич (Світличний Віталій Анатолійович, Svetlichny Vitaliy Anatolevich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет внутрішніх справ; м. Харків, Україна

Сезонова Ирина Константиновна (Сезонова Ірина Костянтинівна, Sezonova Irina Konstantinovna) – кандидат технічних наук, професор,, Харківський Національний університет радіоелектроніки; м. Харків, Україна;