

ОСВЕТИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ УСЛОВИЙ ПРОСМОТРА

С.Г. Мезенцева¹, А.Н. Тимофеев², И.С. Дубинин¹, С.Ю. Арапов¹

¹ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

²ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация. Стабилизированные осветительные устройства, имитирующие стандартные источники освещения Международной комиссии по освещению (МКО), востребованы как в промышленности, так и в исследовательской работе. Основным требованием к осветительным устройствам для создания стандартных условий просмотра в полиграфии является соответствие спектра освещения стандартному осветителю МКО D50. Уровень освещённости, равномерность в заданном поле и т. п. также являются важными параметрами, но их значения определяются спецификой конкретной задачи. Источники светового излучения, обладающие специфическим спектром, эквивалентным D50, являются специализированной дорогостоящей продукцией, как правило, с ограниченным эксплуатационным ресурсом. Наиболее распространены специализированные люминесцентные лампы (ЛЛ). Ксеноновые разрядные лампы применяются в основном для импульсного освещения. Спектрально близкие к D50 светоизлучающие диоды (СИД) пока ещё мало распространены. В то же время возможно получение необходимого спектра в гибридном осветителе. Управляемые узкополосные СИД позволяют дополнить спектр стандартной ЛЛ в заданных зонах с целью получения хорошего имитатора D50. В работе описано разработанное стационарное осветительное устройство – кабина, снабжённая гибридным мультиспектральным источником света на основе близких к стандартному осветителю МКО F1 ЛЛ, узкополосными СИД (390, 410, 445, 490, 515, 595, 630 и 660 нм) и «тёплым белым» СИД (Коррелированная цветовая температура 2800 К). Яркость СИД регулируется электронной цифровой системой управления с помощью широтно-импульсной модуляции (частота около 400 Гц). Достигнуты целевые показатели, полностью соответствующие ISO 3664:2009. На основе использованных решений возможна организация освещения со спектром, эквивалентным осветителям МКО серии D в больших помещениях. Это может быть востребовано при изучении визуального восприятия.

Ключевые слова: спектросвещения, стандартный осветитель, условия просмотра, светоизлучающий диод, люминесцентная лампа.

ВВЕДЕНИЕ

В полиграфической промышленности контрольные цветовые показатели печатных полуфабрикатов регламентируются стандартами серии *ISO 12647*. Несмотря на то, что устанавливаемые ими нормы контролируются специализированными приборами (денситометрами и спектрофотометрами), визуальный контроль цвета остаётся не менее актуальным чем приборный. Первичная оценка отпечатанного материала на наличие грубых ошибок цветопередачи не требует проверки измерительными приборами, к тому же визуальный контроль возможен для полностью готовых изделий, при отсутствии специальных контрольных полей необходимых для применения приборов. Визуальный контроль продукции требует наличия устройства стабильно обеспечивающего стандартные условия просмотра. В исследовательской работе стабилизированные осветительные устройства востребованы в экспериментах, связанных с исследованием визуального восприятия.

Основой для проектирования специализированных осветительных систем служит стандарт *ISO 3664:2009* «*Graphic technology and photography – Viewing conditions*». Стандарт определяет перечень параметров и значений, обеспечивающих необходимое качество освещения. Его ключевой характери-

стикой принимается соответствие спектра стандартному осветителю D50, определяется набором интегральных параметров: координат цветности u^*v^* Международной комиссии по освещению (МКО), значения коррелированной цветовой температуры *CCT*, общий индекс цветопередачи R_a , восемь частных индексов цветопередачи R_1-R_8 , два индекса метамеризма M_{vis} и M_{uv} . Кроме того, устанавливаются нормы на уровень и равномерность освещённости в просмотрной зоне. В работе [1] описана разработка просмотрной кабины соответствующей требованиям *ISO 3664:2009* и предназначенной для исследовательских задач в области визуального восприятия.

Реализация мультиспектральных источников освещения и варианты решения сопутствующих проблем описаны в [2–6]. Гибридные источники описаны в работах [7–9]. В работах [6,10] описаны математические модели спектра мультиспектрального источника освещения и методы решения задачи получения спектра с заданными параметрами. В [11] описаны схемотехнические решения, позволяющие реализовать для мультиспектральных систем освещения масштабируемую электронную цифровую систему управления яркостью светоизлучающих диодов (СИД).

Таким образом, целью данной работы является разработка и реализация гибридного осветительного устройства на основе широкодоступной элементной базы и методических решений, описанных в процитированной литературе. Данное устройство должно удовлетворять требованиям *ISO 3664:2009*.

1. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ОБЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ УСТРОЙСТВА

В общем виде гибридное осветительное устройство является системой, состоящей из элементов различных уровней и назначения: источника света (ИС), рабочей зоны, системы управления ИС и набора эталонных данных, определяющих целевые показатели, которые необходимо обеспечить. Взаимодействие элементов отражено на схеме (рис. 1).

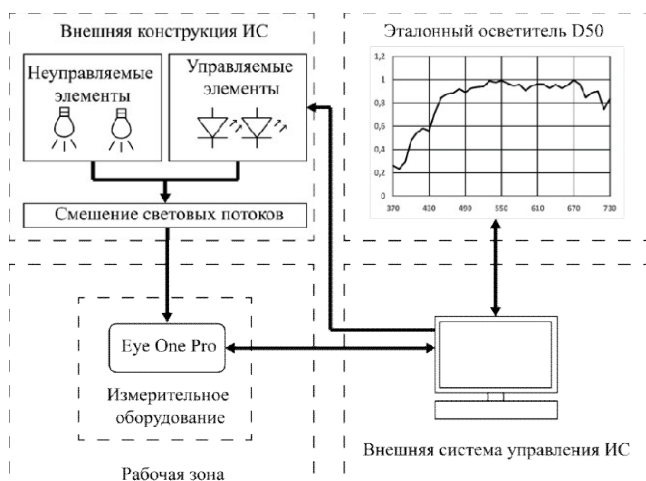


Рис. 1. Общая схема взаимодействия элементов осветительного устройства

Внешняя конструкция ИС объединяет управляемые и неуправляемые излучающие элементы с системой смешения световых потоков. Основой внешней конструкции стал широко распространенный встраиваемый ИС «Нордклифф 418 АП 4x18» изначально разработанный для использования в интерьерной потолочной системе «Армстронг». Он имеет квадратную форму с размером стороны 595 мм и рассчитан на установку четырех люминесцентных ламп (ЛЛ).

Неуправляемыми осветительными элементами, спектр которых необходимо дополнить, являются ЛЛ *Philips TL D 18W/54-765*. В табл. 1 приведена оценка использованных ЛЛ по параметрам, характеризующим спектр излучения согласно *ISO 3664:2009*.

Табл. 1. Характеристики спектра ЛЛ *Philips TL D 18W/54-765*

Параметр	TL D 18W/54-765	Требования ISO 3664:2009
R_a	77,5	Не менее 90
R_1	71,3	Не менее 80
R_2	85,3	
R_3	94,2	
R_4	74,0	
R_5	74,8	
R_6	81,5	
R_7	83,8	
R_8	55,2	
M_{vis}	5,42	Не более 2
M_{uv}	0,49	Не более 1,5
ΔE_{uv}^*	0,013	Не более 0,005

Из данных, приведённых в табл. 1 следует, что используемые ЛЛ не удовлетворяют требованиям к стандартизованным условиям просмотра по большинству параметров. На рис. 2. представлен спектр ЛЛ, полученный путём измерений. Спектральное распределение ЛЛ (рис. 2) наиболее близко к стандартным осветителям F1 и F5 МКО.

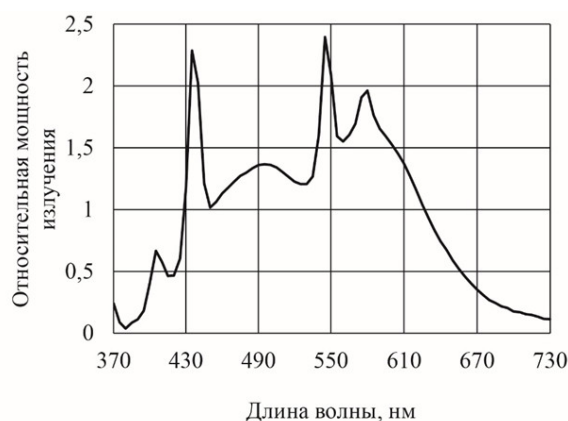


Рис. 2. Спектр лампы *Philips TL D 18W/54-765*

В качестве управляемых излучающих элементов, которыми осуществляется регулирование результирующего спектра излучения был принят набор из широко распространенных на рынке СИД. В него вошли восемь узкополосных СИД (390, 410, 445, 490, 515, 595, 630, 660 нм) и «тёплый белый» СИД (Коррелированная цветовая температура $SST=2800\text{ K}$) со спектральным максимумом 585 нм. Нормированные спектры СИД приведены на рис. 2.

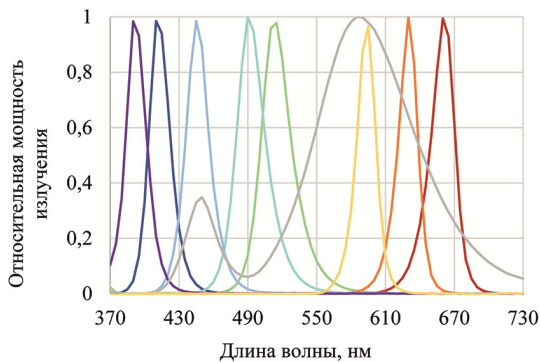
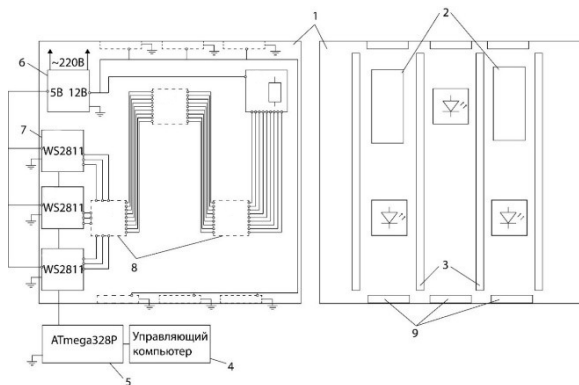


Рис. 3. Спектры излучения используемых светодиодов (слева на право): 390, 410, 445, 490, 515, 585, 595, 630 и 660 (нм)

Перечисленные СИД были объединены в излучающие блоки, содержащие по девять спектральных каналов. Включенные светодиоды нагреваются, поэтому для их охлаждения используются радиаторы размером 20×20×10 мм из алюминиевого профиля. СИД крепятся на радиаторы с дополнительным нанесением термопасты, после чего устанавливаются на платформы размером 100×100 мм, выполненные из изоляционного материала.

Сборка осветительного устройства осуществляется непосредственно на корпусе ИС Нордклифф 418. Общая схема показана на рис. 4. При данном размещении управляющих и осветительных компонентов практически не меняется внутреннее устройство ИС, взятого за основу.



1 – корпус светильника «Нордклифф 418 АП 4х18», 2 – встроенные дроссели и стартеры, 3 – Philips TL D 18W/54-765, 4 – управляющий компьютер, 5 – МК ATmega328P, 6 – источник питания, 7 – модуль на базе драйвера WS2811, 8 – блоки СИД, 9 – вентиляторы

Рис. 4. Пример схемы соединения элементов ЭС

Для охлаждения в корпус светильника дополнительно установлено 6 вентиляторов «Tidar 50×50×15 12 V». Питание СИД (12 В) и управляющих модулей (5 В) осуществляется компьютерным блоком питания INWIN POWER MAN IP-P350GJ2-0. Питание 5 В для микроконтроллера Arduino Uno (ATmega328P) подаётся с управляющего компьютера через порт USB. Блок балластных резисторов ограничивает токи

СИД. Управление яркостью СИД, производится с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) трёхканальными модулями, разработанными на основе драйверов WS2811, дополненных инвертирующими силовыми ключами. Используемые схемотехнические решения подробно описаны в [11].

Наилучшее смешение световых потоков достигается наклеиванием на штатное сотовое акриловое стекло светильника полимерного металлизированного скотча в зонах под блоками СИД (рис. 5).

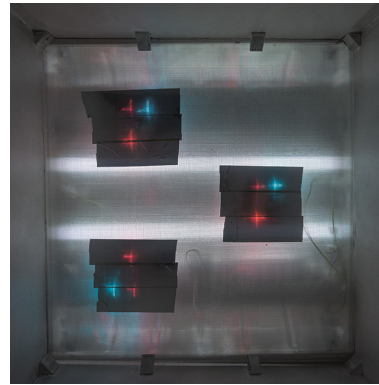


Рис. 5. Размещение дополнительных частично-отражающих полупрозрачных зон на поверхности светильника

Данный материал на просвет является полупрозрачным и обеспечивает отражение большей доли первичного излучения обратно в полость светильника. Таким образом смешение световых потоков происходит за счёт многократных переотражений в полости светильника. Это решение оказалось оптимальным по соотношению качества смешения хроматических световых потоков и общей освещённости в рабочей зоне.

Осветительное устройство реализовано в виде просмотровой кабины в верхней части которой размещён ИС. Стенки кабины окрашены в нейтральный серый цвет, который контролировался спектрофотометром в соответствии с ISO 3664:2009. Общий вид осветительного устройства представлен на рис. 6.

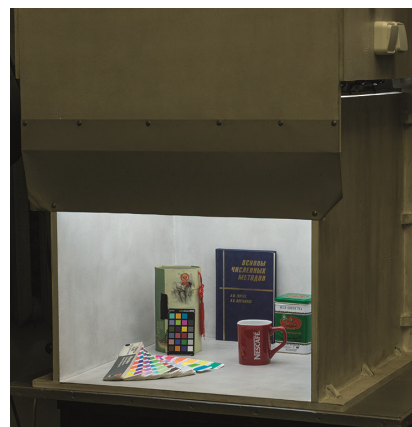


Рис. 6. Общий вид осветительного устройства

В рабочей зоне (рис. 6) в качестве примера размещены различные предметы. Следует обратить внимание на отбрасываемые ими тени. Отсутствие выраженных хроматических теней говорит о высоком качестве смешения хроматических световых потоков.

Измерение всех спектральных характеристик в процессе разработки производилось при помощи спектрофотометра *EyeOne Pro (X-Rite)* в комплексе с открытым программным обеспечением *Argyll CMS*[12].

Внешняя система управления включает в себя микроконтроллер *Arduino Uno* и компьютер (рис. 4). Микроконтроллер используется для кодирования и последовательной передачи управляющих данных в модули (*WS2811*). Программное обеспечение компьютера обеспечивает необходимые колориметрические расчёты, управление контроллером и измерительным оборудованием. Подробное описание математических методов расчёта необходимых уровней ШИМ приведено в работах [8,10].

Эталонным источником для визуального контроля цвета при печати согласно стандарту *ISO 3664:2009* принимается осветитель D50 (рис. 1), имитация которого и является конечной целью работы.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВИЙ ПРОСМОТРА ПОЛУЧЕННЫЕ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ

Конструктивные решения, описанные в данной работе, обеспечили высокие характеристики изготовленного устройства. Уровень освещенности, достигнутый в рабочей зоне, составляет 500–700 Люкс в зависимости от ракурса рассматриваемой поверхности. Спектр освещения в рабочей зоне представлен на рис. 7.

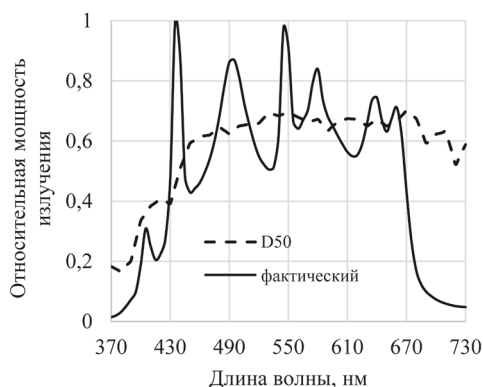


Рис. 7. Спектр освещения в рабочей зоне осветительного устройства

В табл. 2 приведена оценка полученного спектра по параметрам, характеризующим качество имитации осветителя D50 согласно *ISO 3664:2009*.

Табл. 2. Характеристики спектра в рабочей зоне осветительного устройства

Параметр	Освещение в рабочей зоне	Требования ISO 3664:2009
R _a	94,0	Не менее 90
R ₁	90,9	Не менее 80
R ₂	97,6	
R ₃	97,2	
R ₄	91,0	
R ₅	93,5	
R ₆	96,3	
R ₇	95,6	
R ₈	90,2	
M _{vis}	1,14	Не более 2
M _{uv}	0,67	Не более 1,5
ΔE _{u,v'}	0,0046	Не более 0,005

Из данных, приведённых в табл. 1, и уровня освещенности следует, что представленное в работе устройство по всем параметрам удовлетворяет требованиям к стандартизованным условиям просмотра P2: «*Conditions for practical appraisal of prints (including routine inspection)*».

ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы сконструировано, изготовлено и введено в эксплуатацию осветительное устройство, полностью соответствующее требованиям *ISO 3664:2009*. При изготовлении использовались широко распространённые бюджетные комплектующие. Эксплуатация в экспериментальной и учебной работе в течение 1,5 лет показала стабильность его характеристик. Технические решения, использованные в работе, допускают масштабирование, поскольку драйвер *WS2811* способен транслировать полученную управляющую информацию следующему драйверу в цепочке. Это позволяет по двухпроводному каналу управлять последовательной цепочкой гибридных светильников, которые могут освещать большое помещение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасов Д.А. и др. Разработка универсальной просмотрной камеры для квалометрических исследований в соответствии с ISO 3664:2009 // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2014. № 1. С. 27–36.
2. Аладов А.В. и др. Динамически управляемые светодиодные источники света для новых технологий освещения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2014. № 4(206). С. 38–47.
3. Аладов А.В. и др. Полихромные спектрально-перестраиваемые осветительные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения // Светотехника. 2013. № 5–6. С. 34–39.
4. Арапова С.П., Арапов С.Ю., Мезенцева С.Г. Управляемый мультиспектральный светодиодный кластер для репродукционных исследований // Информация: передача, обработка, восприятие: материалы межд. научно-практической конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С. 104–111.
5. Арапова С.П. и др. Автоматизированный мультиспектральный светодиодный осветитель для репродукционных приложений // 3-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных: Информационные технологии, телекоммуникации и систе-

мы управления. Сборник докладов. Москва: Эдитус, 2017. С. 173–179.

6. Finlayson G. et al. On calculating metamer sets for spectrally tunable LED illuminators // Journal of the Optical Society of America A. 2014. Vol. 31, № 7. P. 1577–1587.

7. Арапов С.Ю., Арапова С.П., Тягунов А.Г. Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D» // Светотехника. 2016. № 2. С. 24–28.

8. Арапова С.П. и др. Гибридный источник света спектрально близкий к стандартным осветителям серии «D» // Компьютерный анализ изображений: Интеллектуальные решения в промышленных сетях (САИ-2016): Сборник трудов I Международной конференции. Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2016. С. 23–24.

9. Арапова С.П. и др. Автоматизированный просмотровый комплекс для исследований цветопередачи при RGB-светодиодном освещении // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2015. № 6. С. 3–11.

10. Арапова С.П. и др. Спектрально-колориметрическое управление светодиодными устройствами // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2016. № 4. С. 61–68.

11. Тимофеев А.Н. и др. Схемотехнические и программные решения для управления мультиспектральными осветителями // Информация: передача, обработка, восприятие: материалы международной научно-практической конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2017. С. 61–70.

12. Gill G. Introducing the ArgyllPRO ColorMeter V1.5 [Electronic resource] // Argyll Color Management System Home Page (Including icclib, cgatslib and DPS). 2019. URL: <http://www.argyllcms.com/> (accessed: 23.05.2019).

Мезенцева Софья Георгиевна – аспирант, департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, УрФУ, Екатеринбург. Тел.: +7(904)5431738, sofya.mezenceva.94@mail.ru.

Тимофеев Андрей Николаевич – ФГАОУ ВО Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону.

Дубинин Иван Сергеевич – старший преподаватель, департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, УрФУ, Екатеринбург. Тел.: +7(919)377813, ivan_dubinin@inbox.ru.

Арапов Сергей Юрьевич – старший преподаватель, департамент Информационных технологий и автоматики, институт Радиоэлектроники и информационных технологий, УрФУ, Екатеринбург. Тел.: +7(912)2984347, arapov66@yandex.ru

LIGHTING DEVICE FOR STANDARD VIEWING CONDITIONS PROVIDING

S.G. Mezentseva¹, A.N. Timofeev,² I.S. Dubinin¹, S.Yu. Arapov¹

¹*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin», Yekaterinburg, Russia*

²*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

Abstract. Stabilized lighting devices that simulate the standard illumination sources of the International Commission on Illumination (CIE) are in demand both in industry and in research. The main requirement for lighting devices to create standard viewing conditions in the printing industry is the compliance of the lighting spectrum with the standard illuminator D50 (CIE). The level of illumination, uniformity in a given field, etc. are also important parameters, but their values are determined by the specifics of the task. Light sources with a specific spectrum equivalent to D50, are specialized expensive products, usually with limited operational resource. The most common is specialized fluorescent lamps (FL). Xenon discharge lamps are mainly used for flash lighting. Light emitting diodes (LEDs) that are spectrally close to D50 are still not widely spread. However, it is possible to obtain the required spectrum in a hybrid illuminator. Controlled narrowband LEDs allows to complement the standard FL spectrum in specified areas in order to obtain a good D50 simulator. The paper describes a developed stationary lighting device – a viewing box equipped with a hybrid multispectral light source, based on FL (close to the standard F1 CIE illuminator), narrow-band LEDs (390, 410, 445, 490, 515, 595, 630 and 660 nm) and “warm white” LED (CCT 2800 K). The LED brightness is controlled by an electronic digital control system using pulse width modulation (frequency of about 400 Hz). Achieved targets that are fully compliant with ISO 3664: 2009. Based on the solutions used, it is possible to arrange lighting with a CIE D-series illuminators spectrum equivalent he in large rooms. It can be required when studying visual perception.

Index terms: lighting spectrum, standard illuminator, viewing conditions, light emitting diode, fluorescent lamp.

REFERENCES

1. Tarasov D.A. et al. Development of a universal viewing chamber for qualimetric studies in accordance with ISO 3664:2009 // Bulletin of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2014. № 1. P. 27–36.
2. Aladov A.V. et al. Type LED dynamically controlled light sources for novel lighting technology // St. Petersburg Polytechnic University Journal: Physics and Mathematics. 2014. № 4(206). P. 38–47.
3. Aladov A.V. et al. Polychromic spectral-tunable lighting devices with LEDs: development and application experience // Light & Engineering. 2013. № 5–6. P. 34–39.
4. Arapova S.P., Arapov S.Yu., Mezentseva S.G. Managed Multispectral LED Cluster for Reproduction Research // Information: transfer, processing, perception: materials of the international scientific-practical conference. Yekaterinburg: UrFU, 2016. P. 104–111.
5. Arapova S.P. et al. Automated multispectral LED illuminator for reproduction applications // Proceedings of the 3rd International Young Scientists Conference: Information Technologies, Telecommunications and Control Systems. Moscow: Editus, 2017. P. 173–179.
6. Finlayson G. et al. On calculating metamer sets for spectrally tunable LED illuminators // Journal of the Optical Society of America A. 2014. Vol. 31, № 7. P. 1577–1587.
7. Arapov S.Yu., Arapova S.P., Tyagunov A.G. Hybrid laboratory light source for printing, spectrally close to standard “D” // Light & Engineering. 2016. № 2. P. 24–28.
8. Arapova S.P. et al. Hybrid light source with spectra close of series «D» standard illuminant // Computer image analysis: Intelligent solutions in industrial networks (CAI-2016): proceedings of the I International Conference. Yekaterinburg: Publishing UMC UPI, 2016. P. 23–24.
9. Arapova S.P. et al. Automated viewing complex for the study of color in RGB-LED lighting // Bulletin of higher educational institutions. Problems of printing and publishing. 2015. № 6. P. 3–11.
10. Arapova S.P. et al. Spectral-colorimetric control of LED devices // Bulletin of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1: Natural and technical sciences. 2016. № 4. P. 61–68.
11. Timofeev A.N. et al. Hardware and software solutions for multispectral illuminators controlling // Information: transfer, processing, perception: materials of the international scientific-practical conference. Yekaterinburg: UrFU, 2017. P. 61–70.
12. Gill G. Introducing the ArgyllPRO ColorMeter V1.5 [Electronic resource] // Argyll Color Management System Home Page (Including icclib, cgatslib and DPS). 2019. URL: <http://www.argyllcms.com/> (ac-cessed: 23.05.2019).

Mezentseva Sofya Georgievna – postgraduate student, faculty of Information Technology and Automatics, institute of Radioelectronics and Information Technology, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Yekaterinburg. +7(904)5431738, sofya.mezenceva.94@mail.ru.

Timofeev Andrey Nikolaevich – postgraduate student, Southern Federal University, Rostov-on-Don

Dubinin Ivan Sergeevich – senior lecturer, faculty of Information Technology and Automatics, institute of Radioelectronics and Information Technology, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Yekaterinburg. +7(919)3777813, ivan_dubinin@inbox.ru.

Arapov, Sergey Yurevich – senior lecturer, faculty of Information Technology and Automatics, institute of Radioelectronics and Information Technology, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Yekaterinburg. +7(912)2984347, arapov66@yandex.ru.