

СВЕТО

2·2016

ТЕХНИКА

СВЕТОТЕХНИКА 2 · 2016



Холдинг BL GROUP — крупнейшее
отечественное объединение
на светотехническом рынке.



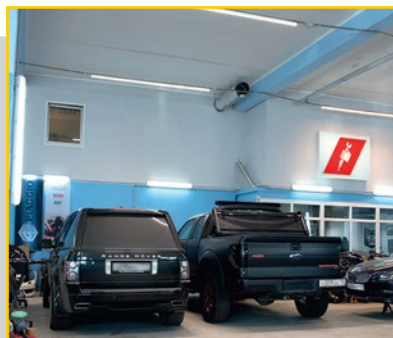
Направления деятельности:

Проектирование;
Производство;
Монтаж;
Управление освещением;
Эксплуатация;
Дистрибьюция.



ТЮНИНГ-АТЕЛЬЕ

МОСКВА,
БЕРЕЖКОВСКАЯ НАБ., 20/87



При реконструкции тюнинг ателье Fast Cust была поставлена задача получить равномерное, экономичное, недорогое и качественное освещение взамен старых светильников с люминесцентными лампами. Большая высота потолков затрудняла оперативную замену вышедших из строя ламп. Поэтому новое освещение было выполнено на светодиодных светильниках.

Для освещения ремонтной зоны автомобильного тюнинг ателье были использованы светильники производства компании Смарт Лампс ALU-MAXi-SP 60chip 500mA 2800mm 4000K мощностью 78 Вт и световым потоком 10500 лм. В них использованы комплектующие Vossloh-Schwabe – светодиодные модули, оптика и драйвера.

Специальная оптика Vossloh-Schwabe, установленная в светильниках ALU-MAXi-SP, позволяет более эффективно использовать световой поток светодиодных модулей. Большая часть света падает вниз на рабочую поверхность, а не на потолок и стены. За счет этого освещенность рабочих зон составляет около 350 лк.

- Общая площадь помещения 900 м², высота потолков 6 м, высота подвеса светильников 5 м.
- В светильниках использованы блоки питания 186443 ECXe 700.147, модули 555319 WU-M-481-840 и оптика Standard.
- Общее количество светильников – 28 шт.

Характеристики светодиодного светильника

- **БОЛЬШОЙ СРОК СЛУЖБЫ: ДО 50 000 ч (L80, B10)**
- **ГИБКОЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ РАЗЛИЧНОЙ ОПТИКИ**
- **ДЛИНА: ОТ 280 ДО 3400 ММ И БОЛЕЕ**
- **ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА: ДО 147 лм/Вт**
- **ГАРАНТИЯ: ДО 5 ЛЕТ**
- **ЦВЕТ КОРПУСА: БЕЛЫЙ, ДРУГИЕ ЦВЕТА ПО ЗАПРОСУ**



Компания «Смарт Лампс» (ООО)
Ярославское ш., вл.3 | (495) 668-0670
info@smartlamps.ru | www.smartlamps.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**Ю.Б. Айзенберг**, шеф-редактор, д.т.н., проф., академик АЭН РФ**А.С. Шараханз**, и.о. главного редактора, к.ф.-м.н.**С.Г. Ашурков**, зам. главного редактора, к.т.н.**Г.В. Боос**, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва**В.Е. Бугров**, д.т.н., проф., Университет ИТМО, С.-Петербург**В.П. Будаков**, д.т.н., проф., НИУ «МЭИ», Москва**Н.В. Быстрянцева**, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва**А.А. Коробко**, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва**А.Т. Овчаров**, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск**Л.Б. Прикупец**, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва**В.М. Питигорский**, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва**А.К. Соловьёв**, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва**Р.И. Столяревская**, д.т.н., Москва**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург**А.Г. Шахпарунянц**, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва**Н.И. Щепетков**, д. арх., МАРХИ (ГА), Москва

129626, Москва, проспект Мира,

106, ВНИСИ, оф. 327

Тел. 7(495)682-26-54

7(499)706-80-65

Тел./факс: 7(495)682-58-46

E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Интернет: www.sveto-tehnika.ru

Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

И.о. главного редактора

А.С. Шараханз

anton.sharakshane@gmail.com

Зам. главного редактора

С.Г. Ашурков

svetlo-nr@yandex.ru

Научный редактор англоязычной версии

Р.И. Столяревская

lights-nr@inbox.ru

Редактор

Е.И. Розовский

Зав. редакцией

Л.В. Шелатуркина

zav.red@list.ru

Менеджер-референт

М.И. Титаренко

zav.red@list.ru

Администратор сайта

Е.М. Новикова

Стилист английской версии

М.Д. Виноградова

Секретарь редакции

А.В. Лукина

journal.svetotekhnika@mail.ru

Дизайнер-верстальщик

А.М. Богданов

Перепечатка статей и материалов из журнала «Светотехника» – только с разрешения редакции.

За содержание и редакцию информационных материалов

ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 21.03.2016

Подписано в печать 15.04.2016

Формат 60x88 1/8. Печ. л. 10,00

Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Агентство Море»

101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

СОДЕРЖАНИЕ

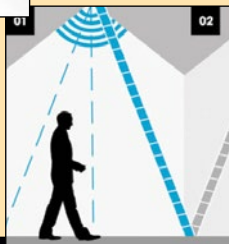
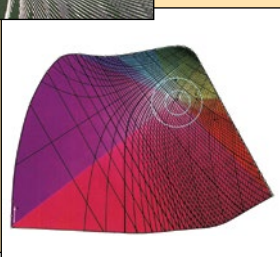
В НОМЕРЕ

Бизнес и инновации**13, 37, 51****Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Капитонова А.В.** Исследование процессов в светильнике со светодиодами при вариации температурного коэффициента напряжения отдельных светодиодов **4****Дженгиз Д., Максимаинен М., Пуолакка М., Халонен Л.** Влияние высоко ярких объектов на обнаружение периферийных целей в условиях сумеречного зрения **7****Барчугова Е.В., Рочегова Н.А.** Видео-мэппинг. От презентации до архитектуры **14****Дин И., Ким Х.** Энергоэффективное управление мощностью оптического излучения в беспроводной связи через видимый свет **19****Арапов С.Ю., Арапова С.П., Тягунов А.Г.** Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D» **24****Бхаттачарджи А., Мазумдар С.** Сравнение светодиодных и «традиционных» источников света по применимости к музейному освещению **29****Щепетков Н.И.** Актуальный светодизайн для классической архитектуры **33****Ли Л., Цай Х.** Возможное воздействие освещения светодиодами на эргономику офиса: влияние возможности плавного управления освещением на набор текстов и подбор цветов объектов по образцам **38****Кудрякова С.М., Снетков В.Ю.** Исследование зрительной работоспособности и утомления при работе с чёрным текстом на цветном фоне **48****Мандал П., Рой Б.** Моделирование в «MATLAB» общего внутреннего освещения с использованием IES-файлов светильников **52****Коган Л.М., Колесников А.А., Туркин А.Н.** Новые мощные ультрафиолетовые и фиолетовые излучающие диоды **57****КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ****Клюев А.В.** Светодиодный 3D-дисплей с электромеханической развёрткой изображения **60****ДИСКУССИИ****Нилов Е.Е., Степанов В.Н.** Дизайн освещения: трудности перевода и критерии оценки **62**

2 • 2016

МАРТ • АПРЕЛЬ

СВЕТО ТЕХНИКА



СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пашковский Р.И. ГОСТ Р 50571.7.702–2013 / МЭК 60364–7–702:2010 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 7. Требования к специальным установкам или местам их размещения. Раздел 702. Плавательные бассейны и фонтаны»

66

ХРОНИКА

Международные конференции и выставки в 2016 году (II полугодие)

79

Fagerhult на выставке «*light + building*»: ставка на инновации

72

Поздравляем

Ю.Б. Айзенберга

70

Р.И. Столяревскую

32

Памяти

Л.В. Абрамовой

47

А.И. Рымова

77

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Аккредитованная испытательная лаборатория
ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»

65

Международная научно-практическая конференция
«Световой дизайн – 2016»

74

Испытательный центр светотехнической продукции ООО «ВНИСИ
им. С.И. Вавилова» (ИЦ ВНИСИ). Федорищев П.А.

76

Испытательная лаборатория Государственного предприятия
«ЦСОТ НАН Беларуси»

78

Новинки GALAD для освещения городов

3 с. обл.

Тюнинг-ателье. Москва, Бережковская наб., 20/87
(компания *Vossloh-Schwabe*)

1

Холдинг BL Group – крупнейшее отечественное
объединение на светотехническом рынке

2 с. обл.

«*Interlight Moscow powered by light+buildings*» (анонс)

«*LICS Indoor*» – интеллектуальная система управления
освещением (компания *Vossloh-Schwabe*)

4 с. обл.

Исследование процессов в светильнике со светодиодами при вариации температурного коэффициента напряжения отдельных светодиодов

Н. Н. БЕСПАЛОВ, С. С. КАПИТОНОВ, А. В. КАПИТОНОВА

ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва», Саранск

E-mail: kapss88@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена разработанная в среде «Multisim» модель светильника со светодиодами (СД). Проведено исследование процессов в нём при вариации значений температурного коэффициента напряжения отдельных СД. Сделаны выводы о целесообразности подбора СД по значениям температурного коэффициента напряжения для построения светильника на их основе.

Ключевые слова: светодиод, модель, вольт-амперная характеристика, полупроводниковая структура, температура, температурный коэффициент напряжения.

Срок службы современных светильников со светодиодами (СД), по заявлению их производителей, равен сроку службы отдельных СД, который достигает 70–100 тыс. ч. Данная информация полностью ошибочна, так как светильник, помимо СД-источника света (например, СД-модуля), содержит устройства с гораздо меньшим сроком службы, чем СД. Так, устройство управления («драйвер») светильника с СД имеет срок службы порядка 40–60 тыс. ч. Да и срок службы СД-источника света не тот, что у отдельного СД, если только не все СД в светильнике одинаковы по электрическим и тепловым параметрам. При этом даже СД, отобранные «в один бин» по тем или иным параметрам, имеют разброс значений других параметров. Соответственно, надёжность светильников с СД существенно ниже расчётной, паспортной. Для повышения надёжности подобных источников света необходимо исследовать протекающие в них процессы при вариации значений электрических и тепловых параметров СД. Один из

важнейших электрических параметров СД, по которому производители не осуществляют их биновку, – температурный коэффициент напряжения (ТКН), что делает целесообразным исследование процессов в СД-источнике света светильника при вариации значений ТКН отдельных СД.

Стандартные модели СД, содержащиеся в ряде программ моделирования электрических схем, упрощённые и не позволяют строить на их основе адекватные модели светильника с СД [1]. Для решения этой проблемы нами разработана в среде «Multisim» модель СД [2, 3], позволяющая учитывать зависимость потока излучения и вольт-амперной характеристики (ВАХ) СД от температуры его полупроводниковой структуры (ПС) [4, 5]. На основе разработанной модели была создана модель СД-модуля светильника, мощностью 50 Вт, состоящего из 40 СД Cree «XT-E Royal Blue LED», включённых последовательно-параллельно (рис. 1).

Для данной марки СД номинальные значения прямого тока, мощности и потока излучения, соответственно, равны 350 мА, 1 Вт и 500 мВт, а допустимая вариация ТКН в пределах одного бина составляет $\pm 7\%$ от паспортного значения в $3 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$. Для СД каждой из четырёх параллельной ветвей СД-модуля задавалось своё значение ТКН в допустимых пределах отклонения, приведённое на рис. 1 (справа).

Разброс значений ТКН СД каждой параллельной ветви приводит к расхождению их ВАХ. Для определения степени расхождения ВАХ СД разных ветвей в среде «Multisim» проведено моделирование этих ВАХ при вышеуказанной вариации значений ТКН и температуре ПС $T_j = 85^\circ\text{C}$ (рис. 2).

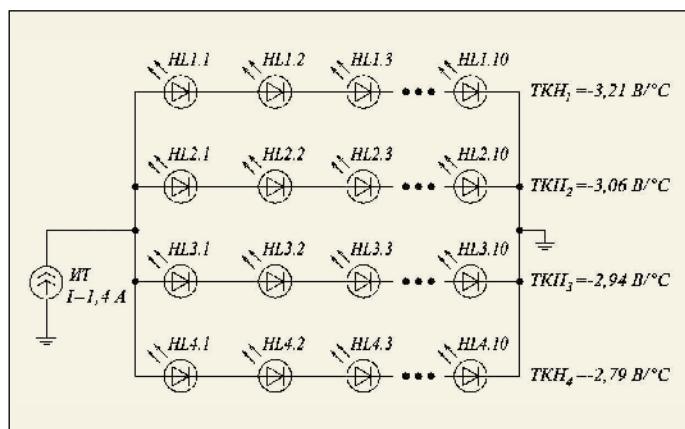


Рис. 1. Схема включения СД в модуле: ИТ – источник тока; ТКН – температурный коэффициент напряжения; HL – светодиод

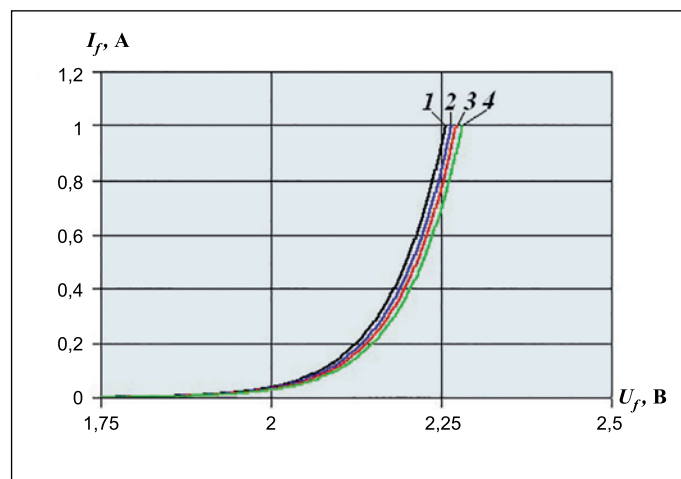


Рис. 2. ВАХ СД каждой ветви по рис. 1

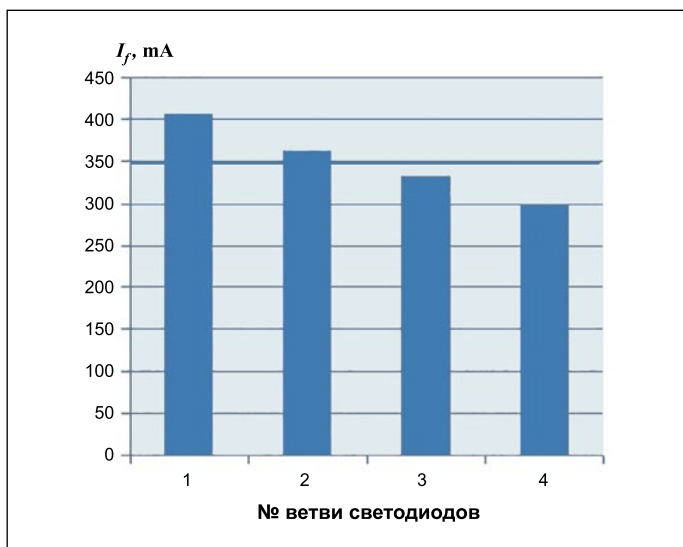


Рис. 3. Токи в параллельных ветвях по рис. 1

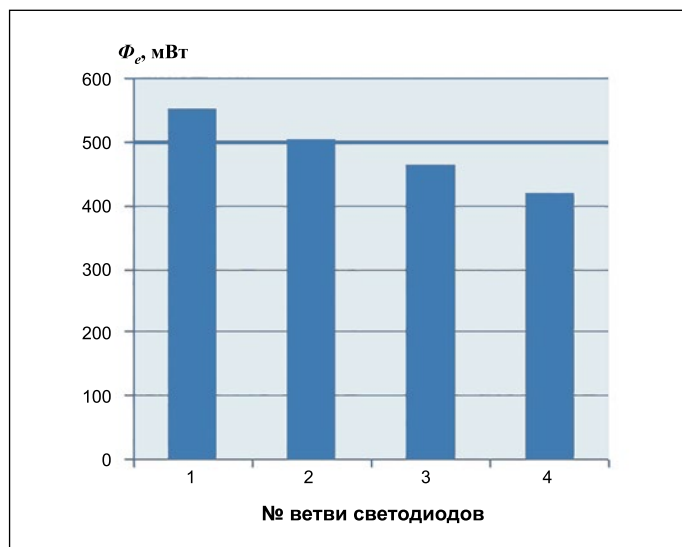


Рис. 4. Распределение значений потока излучения светодиодами ветвей по рис. 1

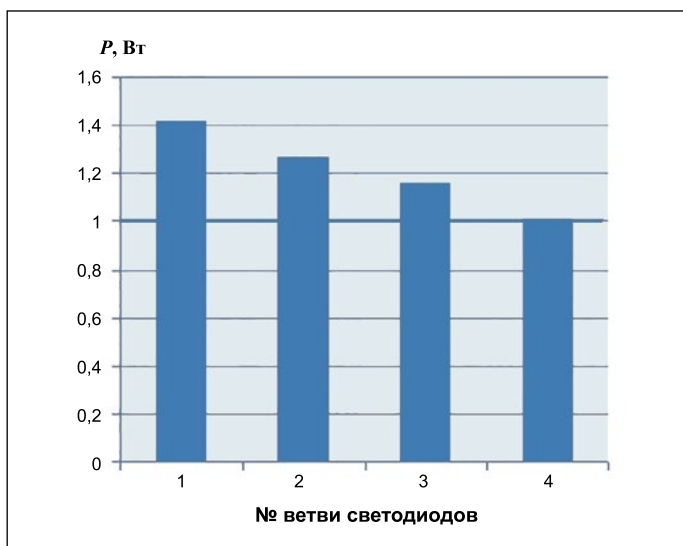


Рис. 5. Распределение значений мощности, потребляемой светодиодами ветвей по рис. 1

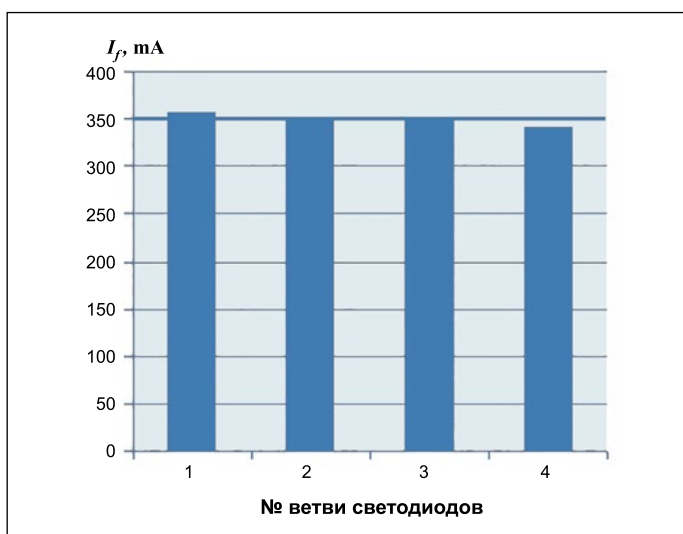


Рис. 6. Распределение значений тока по параллельным ветвям светодиодного модуля светильника после осуществления подбора светодиодов по значениям ТКН с точностью $\pm 1\%$

Из рис. 2 видно, что при разбросе значений ТКН в пределах $\pm 7\%$ от паспортного значения $3 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ ВАХ СД каждой ветви существенно расходятся. Разница в напряжениях на СД U_f с $\text{TKH}_1 = -3,21 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ и $\text{TKH}_4 = -2,79 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ при токе СД $I_f = 1 \text{ А}$ составляет 50 мВ .

Расхождение ВАХ СД каждой ветви приводит к тому, что в разных параллельных ветвях I_f разные. Как видно из рис. 3, I_f СД первой ветви – 405 мА (существенно больше номинального, в 350 мА), а I_f СД четвертой ветви – 300 мА (на 50 мА меньше номинального).

Данные результаты свидетельствует о неэффективном использовании СД в светильнике.

Согласно рис. 4, максимальный разброс значений потока излучения Φ_e – 130 мВт , что выше предельно допустимого отклонения в $\pm 10\%$. Вариация значений Φ_e СД отдельных параллельных ветвей создаёт различие и их световых потоков, что неблагоприятно сказывается на световых характеристиках светильника [6, 7].

А как следует из рис. 5, значения мощности P , потребляемой СД ветвей № 1, 2 и 3, существенно выше номинального значения в 1 Вт . Подобный режим работы чреват перегревом отдельных СД указанных ветвей, что значительно снижает надёжность светильника в целом.

Для выравнивания токов в параллельных ветвях СД-модуля светильника следует подбирать СД по значениям ТКН.

Моделирование процессов, протекающих в СД-модуле светильника (рис. 1) при вариации значений ТКН СД каждой параллельной ветви в пределах $\pm 1\%$ от паспортного значения в $3 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ показало, что после подбора СД по значениям ТКН значения I_f (рис. 6), Φ_e (рис. 7) и P (рис. 8) в каждой параллельной ветви СД-модуля существенно выровнялись и стали практически равны своим номинальным значениям 350 мА , 500 мВт и 1 Вт соответственно.

Таким образом, осуществление подбора СД по значениям ТКН при построении СД-модуля светильника позволяет:

- повышать надёжность светильника за счёт того, что все его СД работают в режиме, близком к номинальному;

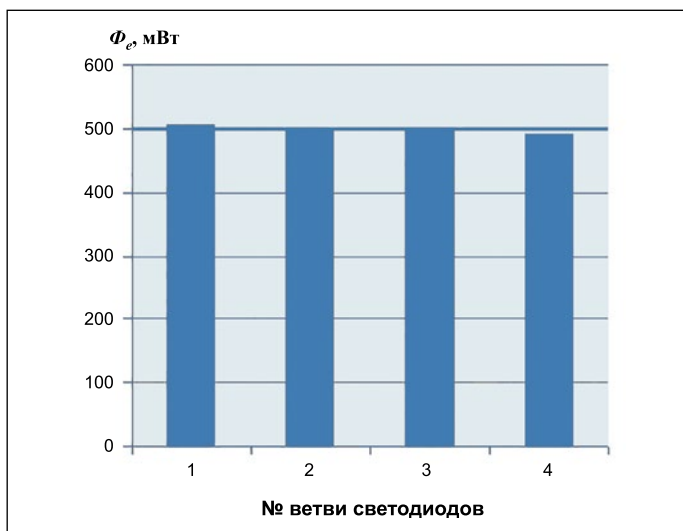


Рис. 7. Распределение значений потока излучения по параллельным ветвям светодиодного модуля светильника после осуществления подбора светодиодов по значениям ТКН с точностью $\pm 1\%$.

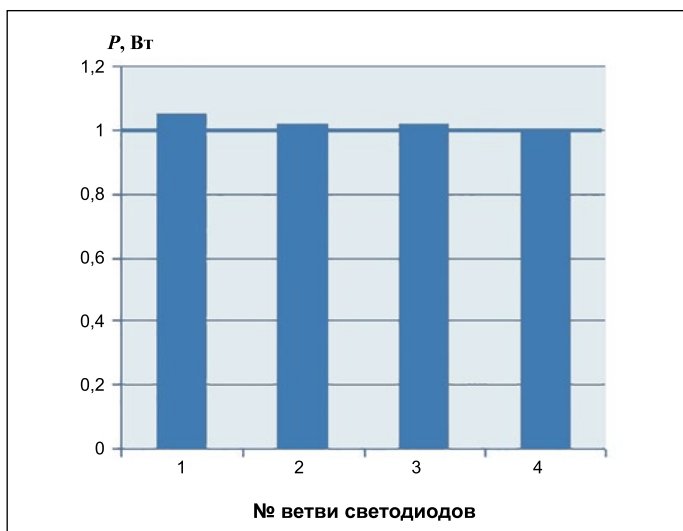


Рис. 8. Распределение значений мощности по параллельным ветвям светодиодного модуля светильника после осуществления подбора светодиодов по значениям ТКН с точностью $\pm 1\%$.

- снижать затраты на охлаждение из-за выравнивания тепловых режимов работы СД;
- уменьшать количество СД в светильнике при неизменном значении его светового потока благодаря более эффективному использованию каждого СД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование стандартной модели светодиода в среде Multisim / С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 4(37). Том 1. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2014. – С. 73–75.
2. Разработка электрической модели светодиода в среде Multisim / С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов, Денис Р. Кильмямятов, Диас Р. Кильмямятов / Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: ООО «Научно-технический вестник Поволжья», 2015. – Вып. № 1. – С. 99–102.

3. Особенности создания электрической модели светодиода / С.С. Капитонов, Н.Н. Беспалов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов / Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. – практич. конф. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 83–85.

4. Исследование зависимости прямого напряжения светодиода от температуры / С.С. Капитонов, А.В. Капитонова / Научный альманах. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – Вып. № 5 (7). – С. 135–138.

5. Исследование температурной зависимости характеристик мощного светодиода / С.С. Капитонов, А.В. Капитонова, А.А. Ашрятов / Материалы XII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Саранск: ИП Афанасьев В.С., 2015. – С. 335–338.

6. Моделирование температурной зависимости потока излучения мощного светодиода / С.С. Капитонов, А.В. Капитонова / Новый университет. Серия «Технические науки». Йошкар-Ола: ООО «Коллоквиум», 2015. – Вып. № 3–4. – С. 47–50.

7. Моделирование излучательной характеристики светодиода в среде Multisim / С.С. Капитонов, А.В. Капитонова / Научный альманах. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – Вып. № 4 (6). – С. 196–200.



Беспалов Николай Николаевич, кандидат техн. наук. Окончил в 1974 г. Новосибирский электротехнический институт. Зав. кафедрой «Электроника и наноэлектроника» ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»



Капитонов Сергей Сергеевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2010 г. МГУ им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры «Электроника и наноэлектроника» ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»



Капитонова Анастасия Владимировна, инженер. Окончила в 2013 г. МГУ им. Н.П. Огарёва. Аспирант кафедры «Источники света» ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва»

Влияние высоко ярких объектов на обнаружение периферийных целей в условиях сумеречного зрения¹

Д. ДЖЕНГИЗ, М. МАКСИМАЙНЕН, М. ПУОЛАККА, Л. ХАЛОНЕН

Университет Аалто, Эспоо, Финляндия
E-mail: can.cengiz@aalto.fi

Аннотация

Проведено исследование зрительной реакции на распределение яркости адаптации в пределах поля зрения. Были реализованы два разных условия адаптации к уличному освещению, для исследования влияния которых в лабораторных условиях обеспечивалась адаптация наблюдателей к разным фоновым изображениям. Фоновые изображения отличались друг от друга тем, что одно из них содержало уличные светильники и другие яркие точки, а на втором изображении эти объекты отсутствовали. В эксперименте участвовали 10 наблюдателей (средний возраст – 30 лет). Наблюдатели должны были сообщать об обнаружении целей, появляющихся при разных эксцентриситетах (от -75° до 75°). Полученные результаты показали, что высоко яркие объекты влияют на обнаружение периферийных целей в условиях сумеречного зрения. Значения порогового контраста в случае периферийных (20° , 30° , 45° и 60°) целей, расположенных рядом с высоко яркими объектами, и неоднородных окрестностей уменьшались при отсутствии фоновых уличных светильников и других ярких точек.

Ключевые слова: фотометрия в условиях сумеречного зрения, адаптация, пороговый контраст, периферийное зрение.

1. Введение

Для использования фотометрии в условиях сумеречного зрения (УСЗ) [1], которая применима в диапазоне яркости $0,005\text{--}5\text{ кд/м}^2$, необходимо знать размеры и форму поля зрительной адаптации. На зрительную работоспособность в УСЗ влияет распределение фоновой яркости, к которой адаптируется зрение. Предыду-

щие исследования показали, что локальная яркость цели – более важный фактор при обнаружении периферийных целей на неоднородном фоне, чем средняя яркость фона [2–4]. Это подкрепляет основанный на локальной адаптации подход [5], который исходит из того, что каждый участок сетчатки настраивает свою чувствительность к свету независимо от других участков.

Восприятие объектов на неоднородном фоне зависит от местоположения объекта и распределения яркости фона [6]. В данной работе обнаружение периферийных целей при разных яркостях фона исследовалось с целью выявления влияния распределения яркости и эксцентриситета цели на зрительную работоспособность.

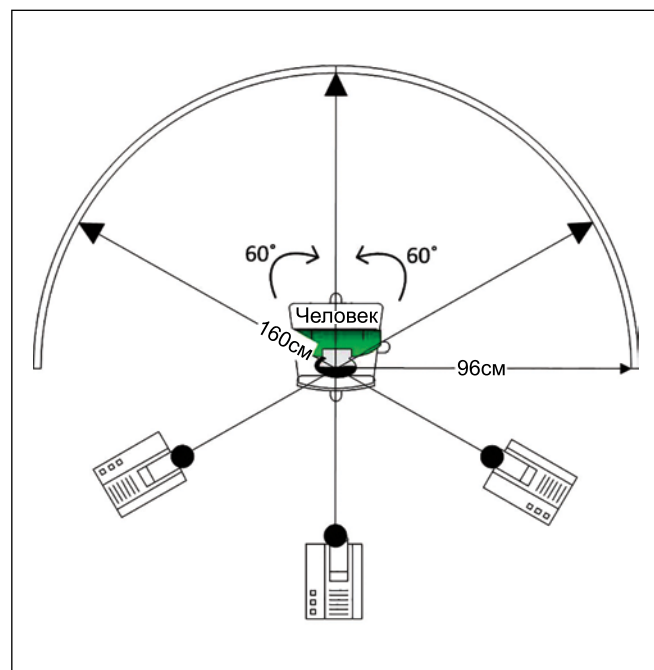
При проведении исследований, связанных со зрительной адаптацией, используются измерения порогового контраста и пороговой разности яркостей [6–10]. Это полезный метод исследования чувствительности зрения.

При управлении автомобилем поле зрения содержит объекты как малой (например, неосвещённые участки за пределами дороги), так и большой (уличные светильники и создающие дискомфортную блёккость фары встречных автомобилей) яркости. Влияние блёккости на обнаружение периферийных целей исследовалось в целом ряде работ [11–14], в которых было показано, что находящийся в поле зрения источник блёккости влияет на зрительную работоспособность, так как приводит к уменьшению видимости цели.

В этой работе использовались в лабораторных условиях два фоновых изображения для измерения пороговых контрастов для появляющихся целей с тем или иным эксцентриситетом. Фоновые изображения отличались друг от друга тем, что одно из них содержало уличные светильники и другие яркие точки, а на втором изображении эти объекты отсутствовали.

Использовавшиеся в исследовании яркости уличных светильников были меньше встречающихся в реальных условиях дорожного движения. Тем не менее они оказывают влияние на распределение яркости в поле зрения. Целью работы было выявление влияния уменьшения диапазона изменения яркости в поле зрения на обнаружение периферийных целей в УСЗ. Ожидается, что полученные результаты помогут в деле определения поля зрительной адаптации в части его протяжённости.

Рис. 1. Экспериментальная установка. Расстояние между наблюдателем и точкой фиксации зрения – 96 см. Расстояние между проектором и соответствующей центральной проекции – 160 см. Угол между проекторами – 60°



¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского



Рис. 2. Фоновые изображения:
а – с яркими точками (со светильниками с СД); б – без ярких точек (без светильников с СД)



Рис. 3. Местоположения пронумерованных целей на фоновом изображении улицы при наличии (а) и отсутствии (б) ярких точек (светильников с СД)

2. Методы

Для формирования фона поля зрения и стимулов использовался большой экран, освещаемый тремя проекторами «BenQ 1007» (рис. 1). Размеры создаваемого на экране поля зрения – $180^\circ \times 44^\circ$.

При проведении исследований наблюдателям демонстрировались два изображения улицы. Оба они представляли собой варианты исходного изображения улицы Отаранта в Эспоо, Финляндия. Отаранта – пригородная тихая улица, освещаемая светильниками со светодиодами (СД). Исходное изображение было получено при помощи фотокамеры «Canon 60D» с объективом «рыбий глаз», расположенной между передними фарами автомобиля. Фары работали в режиме ближнего света.

Первое использовавшееся при проведении исследований изображение улицы совпадало с описанным выше исходным изображением. Это изображение не подвергалось редактированию, за исключением обрезки его до нужных размеров. Соотношение сторон исходного изображения отличалось от соотношения сторон экрана, что и обусловило необходимость обрезки.

Второе использовавшееся в исследованиях изображение улицы было обрезано так же, как и первое. Кроме того, это изображение было отредактировано таким образом, чтобы затемнить на нём маленькие яркие точки. Большинство последних представляли собой уличные светильники и светящиеся участки расположенных на горизонте зданий. В результате мы получили изображение с яркими точками и изображение без ярких точек, позволявшие произвести сравнительное исследование способности наблюдателей обнаруживать демонстрируемые цели. Большие освещённые участки (поверхность дороги) были одинаковыми на обоих изображениях. Второму изображению соответствовало не отсутствие уличного освещения, а отсутствие ярких точек при наличии освещённых участков.

Редактирование изображений осуществлялось при помощи программы «Adobe Photoshop», версия 13.0.1. Использувавшиеся изображения приведены на рис. 2.

В 25 разных точек фона проецировались круглые цели размером $1,5^\circ$. Местоположения целей находились в пределах кольцевых полей зрения размером 10 и 20° и содержали точки с горизонтальным эксцентрисис-

тетом $-75, -60, -45, -30, 30, 45, 60$ и 75° (рис. 3).

Каждый фон имел два уровня яркости. Яркость фона регулировалась при помощи нейтральных светофильтров. Для формирования высоко яркого изображения использовались светофильтры с оптической плотностью 0,6, а для формирования низко яркого – с оптической плотностью 0,9. Значения яркости измерялись с помощью спектрофотометра «ЛМК» и яркомера «ЛМТ 1009». Измерение яркости фона для демонстрации целей осуществлялось при размере поля фона, на который проецировались цели, равном $1,5^\circ$. Яркость цели увеличивали до тех пор, пока она не становилась вдвое большей, чем яркость фона, на котором эта цель демонстрировалась. Наблюдатели должны были сообщить, обнаружили они цель или нет. В данном исследовании под «контрастом» понималось отношение

$$C = (L_b - L_t) / L_b,$$

где C – контраст, L_b – яркость фона в пределах $1,5^\circ$ -поля, на которое проецируется цель, L_t – яркость цели размером $1,5^\circ$.

В исследовании участвовали 10 наблюдателей (средний возраст – 30 лет). Наблюдатели имели нормальное цветовое зрение, что было определено при помощи теста Исихары. Перед началом исследований наблюдателям давалось 5 минут на адаптацию, после чего им требовалось поместить крест в центр экрана и нажать кнопку при обнаружении цели. Зрение было бинокулярным. Интервал между появлениями целей (от 500 до 2000 мс) и порядок следований местоположения целей выбирались случайным образом. Для исключения интуитивного обнаружения целей из результатов удалялись случаи крайне малого контраста (меньше среднего минус два среднеквадратичных отклонения).

Для проверки фиксации глаз наблюдателя на кресте, расположенном в центре изображения, глаза наблюдателей «отслеживались» при помощи ИК-камеры. При смещении взгляда наблюдателю говорилось об этом. Цели демонстрировались в случайном порядке, причём каждое местоположение цели повторялось три раза. Во избежание утомления глаз

Средние значения порогового контраста (CT) для целей на дороге, пронумерованных (№) в соответствии с рис. 3, в условиях низкой яркости при наличии и отсутствии светильников с СД. Местоположения точек определяются значениями их горизонтального (h) и вертикального (v) эксцентриситетов. L – яркость 3°-поля зрения, в которое была помещена цель размером 1,5°; Std – среднеквадратичное отклонение среднего значения порогового контраста; $Miss$ – процент пропущенных целей

№	Низкая яркость		При наличии светильников				При отсутствии светильников			
	h , град.	v , град.	L , кд/м ²	CT	Std	$Miss, \%$	L , кд/м ²	CT	Std	$Miss, \%$
1	-75	0	0,1	1,0	0,00	100	0,09	0,94	0,15	79,17
2	-60	0	0,1	0,79	0,25	48,15	0,09	0,62	0,29	24,14
3	-45	0	0,12	0,71	0,26	25,93	0,12	0,42	0,20	0,00
4	-30	0	0,09	0,46	0,17	0,00	0,08	0,30	0,07	0,00
5	-20	0	0,28	0,72	0,26	33,33	0,12	0,48	0,32	3,33
6	-12	-16	1,56	0,19	0,08	0,00	1,3	0,17	0,06	0,00
7	-12	16	0,06	0,30	0,08	0,00	0,06	0,26	0,09	0,00
8	-10	0	0,26	0,52	0,18	0,00	0,12	0,73	0,20	14,29
9	-6	-8	1,6	0,17	0,05	0,00	1,3	0,19	0,07	0,00
10	-6	8	0,08	0,30	0,10	0,00	0,07	0,27	0,12	0,00
11	-2	-20	2,8	0,12	0,07	0,00	2,4	0,09	0,05	0,00
12	0	-10	2,8	0,08	0,03	0,00	2,7	0,06	0,01	0,00
13	0	0	0,14	0,43	0,16	3,45	0,11	0,32	0,13	0,00
14	1	10	0,09	0,22	0,08	0,00	0,08	0,22	0,08	0,00
15	0	20	0,08	0,60	0,29	25,00	0,06	0,39	0,35	6,67
16	6	-8	1,05	0,61	0,19	3,85	0,93	0,41	0,14	0,00
17	6	8	0,07	0,24	0,10	0,00	0,06	0,21	0,06	0,00
18	10	0	0,11	0,56	0,19	0,00	0,1	0,44	0,19	0,00
19	12	-16	2,75	0,33	0,19	16,67	2,24	0,14	0,11	3,33
20	12	16	0,07	0,24	0,16	0,00	0,07	0,17	0,07	0,00
21	20	0	0,08	0,21	0,07	0,00	0,07	0,22	0,16	0,00
22	30	0	0,07	0,29	0,10	0,00	0,06	0,27	0,10	0,00
23	45	0	0,09	0,28	0,11	0,00	0,08	0,21	0,04	0,00
24	60	0	0,1	1,01	0,00	100,00	0,09	0,59	0,29	23,33
25	74	-2	0,1	1,01	0,00	100,00	0,08	0,96	0,12	76,92

повторы осуществлялись с интервалом в 60 с.

3. Результаты

Оба фоновых изображения (при наличии и при отсутствии светильников) демонстрировались с двумя уровнями яркости, которые далее будем называть низкой и высокой яр-

костями. Местоположения целей на фоновых изображениях отождествляются по их номерам (рис. 3). Местоположения целей, выраженные при помощи значений горизонтального и вертикального эксцентриситетов цели относительно точки фиксации зрения (точка 13 на рис. 3), приведены в табл. 1. Точки 8, 9, 10, 12, 14, 16, 17 и 18 соответству-

ют целям, находящимся в пределах 10°-поля зрения, а точки 5, 6, 7, 11, 15, 19 и 20 – 20°-поля зрения. Остальные номера соответствуют точкам с горизонтальным эксцентриситетом -75°, -60°, -45°, -30°, 30°, 45°, 60° и 75°. Местоположения целей №№ 11 (20°), 14 (10°) и 25 (75°) немного смещались, чтобы не перекрывать присутствующие на изображении яркие объекты.

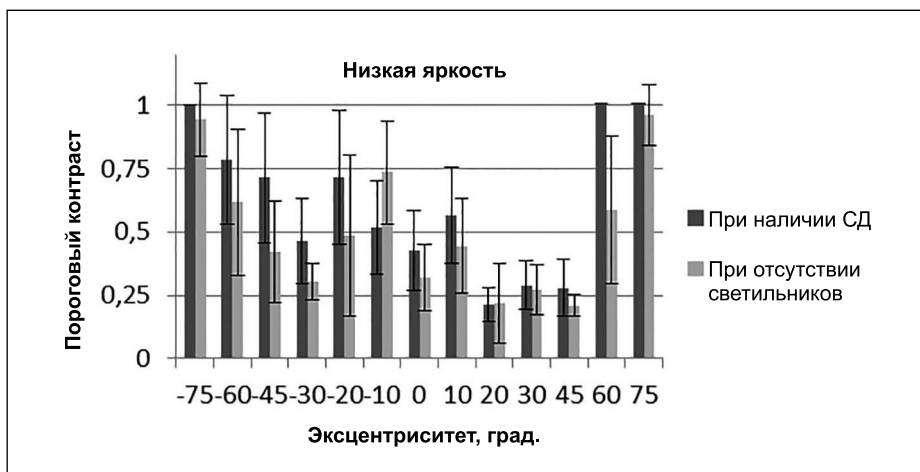


Рис. 4. Пороговые контрасты расположенных вдоль горизонтальной оси целей №№ 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 18, 21, 22, 23, 24 и 25 на рис. 3 в случаях изображений низкой яркости и наличия светильников с СД. «Усы» – среднеквадратичные отклонения от средних значений



Рис. 5. Пороговые контрасты расположенных вдоль горизонтальной оси целей №№ 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 18, 21, 22, 23, 24 и 25 на рис. 3 в случаях изображений высокой яркости и наличия светильников с СД. «Усы» – среднеквадратичные отклонения от средних значений

3.1. Низкая яркость

Уровни яркости фоновых изображений регулировались при помощи нейтральных светофильтров. Для получения фонового изображения низкой яркости использовались светофильтры с оптической плотностью 0,9. Уровни яркости фоновых изображений со светильниками и без них составляли 0,05–19 кд/м² (средняя яркость экрана в целом – 9,03 кд/м²) и 0,05–7 кд/м² (средняя яркость экрана в целом – 2,9 кд/м²) соответственно.

Измеренные средние значения порогового контраста приведены в табл. 1. Средние значения порогового контраста для целей, расположенных вдоль горизонтальной оси (№№ 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 18, 21, 22, 23, 24 и 25), приведены на рис. 4. Из табл. 1 видно, что наименьшие значения порогового контраста были

получены для целей, расположенных на поверхности дороги (№№ 6, 9, 11 и 12), где высоко яркие объекты не оказывали никакого влияния на обнаружение целей. В случае фона низкой яркости наличие или отсутствие высоко ярких объектов практически не влияло на значения пороговых контрастов целей с эксцентриситетами 20 и 30° (№№ 21 и 22). В то же время в случае целей с эксцентриситетами 60, 10, –20, –30, –45 и –60° пороговые контрасты при отсутствии светильников оказались ниже (рис. 4). У цели № 8, с эксцентриситетом –10°, пороговый контраст оказался выше, чем у всех остальных целей в пределах 10°-поля зрения, что связано с распределением яркости в окрестности этой цели. Последняя окружена яркими точками и небольшими деревьями, что делает её фон более сложным по сравнению с другими его участками. Как

бы то ни было, если фон не содержит светильники, пороговый контраст цели растёт. Это не объяснимо только низкой локальной яркостью, 0,12 кд/м², так как фон цели № 5, с эксцентриситетом –10°, имеет ту же яркость. Это неожиданный результат! В случае фона без светильников пороговые контрасты для целей, расположенных по краям дороги, ниже, чем при наличии светильников. Для целей, появляющихся вблизи светильников (№№ 14 и 15), полученные различия в пороговых контрастах при изменении фонового изображения относятся лишь к обнаружению цели № 15.

3.2. Высокая яркость

Для получения фонового изображения высокой яркости использовались светофильтры с оптической плотностью 0,6. Уровни яркости фоновых изображений со светильниками и без них составляли 0,1–37 кд/м² (средняя яркость экрана в целом – 14,65 кд/м²) и 0,1–15 кд/м² (средняя яркость экрана в целом – 7 кд/м²) соответственно.

Средние пороговые контрасты целей, демонстрировавшихся на высоко ярких фоновых изображениях, приведены в табл. 2, а целей, расположенных вдоль горизонтальной оси (№№ 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 18, 21, 22, 23, 24 и 25) – на рис. 5. Как и для изображений низкой яркости, наименьшие значения порогового контраста были получены для целей, появляющихся на поверхности дороги (№№ 6, 9, 11 и 12). При демонстрации целей с эксцентриситетом 20, 30 и 45° (№№ 21–23) не наблюдалось почти никаких различий между пороговыми контрастами, полученными при двух разных высоко ярких фоновых изображениях (табл. 2). Кроме того, при эксцентриситетах –10, 0 и 10° средние значения порогового контраста оказались примерно одинаковыми. В то же время, как и в случае низкой яркости, у целей с эксцентриситетами 60, 10, –20, –30, –45 и –60° пороговые контрасты при отсутствии светильников оказались ниже (рис. 5).

Цели №№ 14 и 15 располагались около светильников, находящихся в пределах 10- и 20-градусного поля зрения соответственно. У цели № 14 пороговый контраст оказался ниже в случае изображения без

Средние значения порогового контраста (CT) для целей на дороге, пронумерованных (№) в соответствии с рис. 3, в условиях высокой яркости при наличии и отсутствии светильников с СД. Местоположения точек определяются значениями их горизонтального (h) и вертикального (v) эксцентриситетов. L – яркость 3°-поля зрения, в которое была помещена цель размером 1,5°; Std – среднеквадратичное отклонение среднего значения порогового контраста; $Miss$ – процент пропущенных целей

№	Высокая яркость		При наличии СД				При отсутствии СД			
	h , град.	v , град.	L , кд/м ²	CT	Std	$Miss, \%$	L , кд/м ²	CT	Std	$Miss, \%$
1	-75	0	0,22	0,99	0,06	91,7	0,18	0,93	0,15	66,67
2	-60	0	0,22	0,99	0,08	87,5	0,18	0,59	0,27	20,00
3	-45	0	0,27	0,77	0,28	46,2	0,24	0,54	0,21	6,67
4	-30	0	0,2	0,46	0,25	7,4	0,17	0,34	0,11	0,00
5	-20	0	0,66	0,72	0,27	33,3	0,26	0,49	0,21	3,33
6	-12	-16	3,83	0,22	0,13	0,0	3,34	0,18	0,08	0,00
7	-12	16	0,15	0,29	0,14	0,0	0,13	0,23	0,07	0,00
8	-10	0	0,61	0,68	0,22	13,3	0,26	0,67	0,23	3,33
9	-6	-8	4,24	0,20	0,15	0,0	3,2	0,17	0,05	0,00
10	-6	8	0,2	0,29	0,10	0,0	0,18	0,23	0,09	0,00
11	-2	-20	6,4	0,16	0,11	23,8	6,12	0,09	0,05	0,00
12	0	-10	7	0,07	0,03	0,0	6,32	0,07	0,02	0,00
13	0	0	0,39	0,32	0,09	0,0	0,26	0,32	0,19	0,00
14	1	10	0,21	0,31	0,15	0,0	0,19	0,22	0,08	0,00
15	0	20	0,17	0,54	0,29	24,1	0,14	0,31	0,12	0,00
16	6	-8	2,3	0,58	0,23	3,6	2,11	0,41	0,15	0,00
17	6	8	0,17	0,23	0,11	0,0	0,15	0,19	0,09	0,00
18	10	0	0,28	0,40	0,26	0,0	0,22	0,40	0,19	3,33
19	12	-16	5,75	0,27	0,13	42,9	5,36	0,16	0,09	0,00
20	12	16	0,16	0,23	0,18	0,0	0,15	0,17	0,07	0,00
21	20	0	0,21	0,21	0,07	0,0	0,19	0,17	0,05	0,00
22	30	0	0,16	0,25	0,10	0,0	0,14	0,24	0,09	0,00
23	45	0	0,2	0,27	0,20	3,6	0,18	0,24	0,11	0,00
24	60	0	0,23	1,00	0,03	96,2	0,19	0,69	0,29	33,33
25	74	-2	0,25	1,01	0,00	100,0	0,2	0,93	0,14	56,67

светильников, что противоречит результатам, полученным при низкой яркости. Более того, при удалении из фона высоко ярких объектов для цели № 15 процент пропущенных целей оказался нулевым. Различия в значениях порогового контраста, соответствующего этой точке, также оказалось выше при высокой яркости фона.

3.3. Статистический анализ

Для определения влияния местоположения цели и её яркости на пороговый контраст был применён двухфакторный дисперсионный анализ. Полученные результаты продемонстрировали большое влияние местоположения цели, её яркости и их совокупности на пороговый контраст

(табл. 3). Кроме того, для выявления влияния на пороговый контраст яркости фона и наличия в нём высоко ярких объектов были применены t -тесты Стьюдента. Уровень яркости фона не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на пороговый контраст: $t(998) = 0,14$; $p = 0,89$. В то же время t -тесты продемонстрировали существенное влияние на по-

Таблица 3

Результаты применения двухфакторного дисперсионного анализа к полученным значениям порогового контраста. Существенные параметры выделены жирным шрифтом ($p < 0,05$)

Причина изменения	Пороговый контраст	
	<i>F</i>	Значения <i>p</i>
Местоположение цели	68,25	0,00
Яркость цели	4,84	0,00
Местоположение цели × яркость цели	4,84	0,00

роговый контраст высоко ярких объектов: $t(998) = -5,04$; $p = 0,00$.

Результаты статистического анализа подтвердили влияние высоко ярких объектов на пороговый контраст. Использование нейтральных светофильтров приводило к двукратному уменьшению или увеличению яркости. Однако результаты *t*-тестов не демонстрируют сколько-нибудь существенного влияния уровня яркости фона на пороговый контраст, что противоречит нашим предположениям. При этом сильное повышение яркости может иметь статистически значимое влияние на чувствительность зрения.

4. Обсуждение

Сцены, воспринимаемые при управлении автомобилем в ночное время, содержат объекты разной яркости. Распределение яркости в поле адаптации влияет на зрительную работоспособность. Источники блёскости формируют блёскость эквивалентной вуали, которая затрудняет обнаружение целей. Однако реализованные в этом исследовании яркости объектов, названных высоко яркими (37 кд/м^2), значительно уступают яркостям источников блёскости, встречающихся в реальных условиях дорожного движения, что связано с невозможностью обеспечения требуемых яркостей посредством использовавшихся нами проекторов. Поэтому яркость эквивалентной вуали, создаваемая светильниками, присутствующими на фоновом изображении, оказалась пренебрежимо мала. Однако при этом ещё остаётся возможность выявления влияния высоко ярких объектов фона на обнаружение целей.

Удаление светильников из фона влияет на обнаружение периферий-

ных целей. В случае расположенных справа (20 , 30 и 45°) периферийных целей пороговый контраст оказался ниже, чем в случае имеющих тот же эксцентриситет расположенных слева целей, что обусловлено равномерностью распределения яркости фона в его правой периферийной части. С другой стороны, участки фона, окружающие левые периферийные цели, содержат деревья в обоих вариантах фона и небольшие яркие точки в случае фона со светильниками. Так что распределение яркости фона в ближайших окрестностях цели влияет на обнаружение периферийных целей. Пороговые контрасты для левых периферийных целей меньше в случае фона без светильников.

У целей, находящихся в пределах 10° - и 20° -полей зрения и демонстрируемых на участках фона с равномерным распределением яркости, не наблюдалось никаких различий в пороговой яркости. Однако при низкой яркости фона удаление светильников и прочих ярких точек меняло пороговые контрасты целей с эксцентриситетами 0 и 10° (№№ 13 и 18). Это может быть связано с увеличением чувствительности зрения при более низкой яркости адаптации.

Цель, расположенную в 20° -поле зрения около самого большого светильника (№ 15), обнаружить трудно. В этом случае хорошо заметно влияние удаления светильника из фона. Для этого местоположения процент пропущенных целей также оказался большим по сравнению с другими целями, расположенными недалеко от точки фиксации зрения (эксцентриситеты 10 и 20°) (табл. 1 и 2). После удаления светильников из фона распределение яркости становится равномерным, пороговый контраст уменьшается, а процент

пропущенных целей становится нулевым. Другая цель, располагавшаяся около светильника, находится в 20° -поле зрения (№ 14). Однако влияние удаления расположенных вблизи этой точки светильников заметно только при высокой яркости фона.

Удаление светильников не влияло на яркость поверхности дороги. Поэтому использовавшееся фоновое изображение можно считать результатом моделирования, не отражающим реальные дорожные условия, так как в модели дорога освещена светильниками, отсутствующими в наблюдаемой сцене. Однако удаление светильников и прочих ярких точек в основном влияет на пороговые контрасты целей, расположенных на дальней периферии (-60 , -45 , 45 и 60°). Результаты статистического анализа также говорят о том, что высоко яркие объекты существенно влияют на обнаружение периферийных целей. Поэтому можно считать: если в реальных дорожных условиях принимать во внимание яркость источников блёскости, то уменьшение блёскости приводит к увеличению поля зрительной адаптации.

5. Заключение

В данной работе в условиях вождения автомобиля в тёмное время суток были измерены пороговые контрасты периферийных целей с разными эксцентриситетами. Удаление высоко ярких объектов влияет на чувствительность зрения к целям, расположенным как рядом с этими объектами, так и на дальних периферийных участках с неравномерным распределением яркости. Ожидается, что исследования с использованием реальных источников блёскости продемонстрируют более значительные различия в обнаружении периферийных целей. Предлагается учитывать источники блёскости при определении размеров поля адаптации в реальных дорожных условиях.

Авторы благодарны Академии Финляндии (проект № 251791) и Программе исследований в области энергоэффективности Университета Аалто (проект «*Light Energy*») за финансирование этой работы. Авторы выражают свою признательность магистру Эско Аалто за его вклад в про-

ектирование и изготовление экспериментальной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Commission Internationale de l'Eclairage. Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. CIE Central Bureau CIE191, 2010, b.
2. Akashi, Y., Rea, M.S., Bullough, J.D. Driver decision making in response to peripheral moving targets under mesopic light levels // Lighting Research and Technology. – 2007. – Vol. 39. – P. 53–67.
3. Uchida, T., Ohno, Y. Defining visual adaptation field for mesopic photometry: Does surrounding luminance affect peripheral adaptation? // Lighting Research and Technology. – 2014. – Vol. 46. – P. 520–533.
4. Cengiz, C., Puolakka, M., Halonen, L. Reaction time measurements under mesopic light levels: Towards estimation of the visual adaptation field// Lighting Research and Technology. – 2014; 0: 1–17. URL: <http://lrt.sagepub.com/content/early/2014/10/17/1477153514554494> DOI: 10.1177/1477153514554494.
5. Illuminating Engineering Society of North America. *Spectral Effects of Lighting on Visual Performance at Mesopic Lighting Levels*. IES TM-12–12. – New York, NY: IESNA, 2012.
6. Narisada, K. Visual perception in non-uniform fields // Journal of Light and Visual Environment. – 1992. – Vol. 16, No. 2. – P. 81–88.
7. Narisada, K. Visual perception in non-uniform fields // Journal of Light and Visual Environment. – 1995. – Vol. 19, No. 2. – P. 5–14.
8. Howard, C.M., Tregear, S.T., Werner, J.S. Time course of early mesopic adaptation to luminance decrements and recovery of spatial resolution // Vision Research. – 2000. – Vol. 40. – P. 3059–3064.
9. Plainis, S., Murray, I.J., Charman, W.N. The role of retinal adaptation in night driving // Optometry and vision science. – 2005. – Vol. 82, No. 8. – P. 682–688.
10. Matesanz, B.M., Issolio, L., Arranz, I., de la Rosa, C., Menedez, J.A., Mar, S., Aparico, J.A. Temporal retinal sensitivity in mesopic adaptation // Ophthalmic & physiological optics. – 2011. – Vol. 31. – P. 615–624.
11. Aguirre, R.C., Colombo, E.M., Barraza, J.F. Effect of glare on reaction time for peripheral vision at mesopic adaptation // J. Opt. Soc. Am. A. – 2011. – Vol. 28, No. 10. – P. 2187–2191.
12. Uchida, T., Ohno, Y. Effect of high luminance sources to peripheral adaptation state in mesopic range// Proc. of CIE Centenary Conference: Towards a New Century of Light, Paris, France, April 15–16 2013. – P. 529–536.

13. Puell, M.C., Palomo, C., Sanchez-Ramos, C., Villena, C. Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population // Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol. – 2004. – Vol. 242. – P. 755–761.

14. Akashi, Y., Rea, M. The effect of oncoming headlight glare on peripheral detection under a mesopic light level / 2001 PAL – Progress in Automobile Lighting Proceedings of the Symposium, September 25–26, 2001. Darmstädter Lichttechnik, no. 9. – Munich, Germany: Herbert Utz Verlag Wissenschaft.



Джан Дженгиз (San Cengiz), М. Sc.
Аспирант
Университета
Аалто. Область научных интересов: зрительная адаптация в условиях сумеречного зрения



Микко Максимаинен (Mikko Maksimainen), М. Sc. Аспирант
Университета
Аалто. Область научных интересов: светотехника и зрительные процессы



научных интересов: наружное освещение и видимость при низких уровнях освещения

Марьюкка Пуолакка (Marjukka Puolakka), Dr. Sc.
Старший научный сотрудник
Светотехнического блока
Университета
Аалто. Область

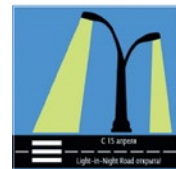


научных интересов: наружное освещение и видимость при низких уровнях освещения

Лииса Халонен (Liisa Halonen), Dr. Sc., профессор.
Руководитель
Светотехнического блока
Университета
Аалто. Отвечает за преподавательскую и научно-ис-

«Light-in-Night Road» – открыта!

15 апреля 2016 г. – день 15-летия «Light-in-Night», профессионального инструмента для проектирования наружного утилитарного освещения. Программа бесплатна, общедоступна, русскоязычна, удобна в работе, постоянно обновляется и имеет оперативную техническую поддержку.



С этого времени мы переходим на модель развития сервиса, делая программу и её возможности общедоступной площадкой для всех производителей.

С 15 апреля 2016 г. любой производитель светильников может разместить свою продукцию в базе программы. Мы отказались от полностью открытой модели, как в некоторых зарубежных программах. Результаты расчёта в «Light-in-Night» должны быть достоверны, и это часть нашей философии. Поэтому все светильники, загруженные в программу, пройдут фотометрические измерения в Испытательном центре ООО «ВНИСИ».

Это даёт возможность пользователю программы в «Light-in-Night»:

применять в проектах светильники любого производителя, заключившего с нами договор на включение его светильников в базу программы;

быть уверенным в качестве и защите от недостоверных IES-файлов, сделанных вручную и без измерения параметров светильников, а также в том, что средства, полученные от договоров с производителями, пойдут на развитие программы, включая: расширение области применения, удобство пользования, повышение качества визуализации сцен, расширение нормативной базы программы и т.д.

В свою очередь, производитель светильников может заключить договор о создании своего плагина по принципу «абонентской платы», что сделает последний доступным всей аудитории пользователей программы и позволит производителю закладывать в проекты новых осветительных установок свои светильники. Площадка «Light-in-Night» становится общедоступной.

Узнать о программе больше можно здесь – www.l-i-n.ru. Контактное лицо: Ходырев Дмитрий Михайлович, lin@vnisi.ru, тел. 8 (903) 964–18–24.

<http://galad.ru/about/news/>
08.02.2016

Видео-мэппинг. От презентации до архитектуры

Е. В. БАРЧУГОВА, Н. А. РОЧЕГОВА

МАрхИ (ГА), Москва

E-mail: na.rochegova@markhi.ru

Аннотация

Современное общество подвержено глобальным изменениям, обусловленным всеобщим процессом информатизации. Проникновение компьютерных технологий во все сферы жизнедеятельности стало причиной формирования нового мировоззрения. Границы отдельных дисциплин расширяются, устанавливая новые связи и способствуя развитию межпрофессиональных исследований. Архитектура взаимодействует с разными областями гуманитарных и технических наук, а также с новыми видами искусств, в частности с искусством аудиовизуальным — видео-мэппингом (3D-мэппингом). Практика использования видео-мэппинга в городской среде получает всё большее распространение. Активное развитие подобной художественной интеграции требует осмысления и анализа, способных вскрыть новые ресурсы на пути гуманизации городской среды.

Ключевые слова: видео-мэппинг, визуальность, доступность, массовость, синтетическая деятельность, гуманизация городской среды.

Архитектурный видео-мэппинг (ВМ) возник из специфического вида аудиовизуального искусства, напрямую связанного с развитием компьютерных технологий. Экстерьерные, интерьерные и ландшафтные видео-проекции и световые инсталляции не только очень зрелищны, но и обладают ёмкой информативностью (рис. 1). В настоящее время применение ВМ, кроме уже ставших привычными праздничных шоу, распространилось на клубы, музеи, театры, выставки, учебные центры. Характер и пути взаимной интеграции архитектуры и аудиовизуальных видов искусства требуют осмысления и анализа.

ВМ как явление присутствует в городской среде не одно десятилетие. Речь идёт об аудио-видео проекциях на материальные объекты, в том числе архитектурные. Род этой дея-

тельности развился из презентаций и рекламных компаний по продвижению какого-либо товара или явления сферы услуг. В начале, когда цены на подобные технологии были высокими, ВМ использовали только крупные коммерческие фирмы или муниципальные власти.

Самыми масштабными и дорогостоящими до сих пор являются Фестивали света, проходящие во многих крупных городах мира. Размах мероприятия можно ощутить в цифрах, описывающих Московский фестиваль «Круг света» 2011 г., автором которого был создатель церемонии открытия Олимпийских игр в Ванкувере (2010) и Сиднее (2000) Дэвид Эткинс, а именно: площадь общей проекции — 25500 м², 40 световых приборов «Big Light» с общей протяженностью лучей более 40 км, 81 проектор, 12 линий акустики с мощностью звука 1 МВт, 2184 м³ металлоконструкций, более 1000 участников подготовки и реализации шоу.

В Москве Фестиваль света приобретает всё большую популярность, в 2011 г. он проходил на трёх площадках, в 2014 г. — на семи, а в 2015 г. «Круг света» развернулся на девяти площадках города и стал золотым партнёром объявленного ООН и ЮНЕСКО Международного года света и световых технологий. Кроме масштабных шоу, в последнее десятилетие появилось множество приё-

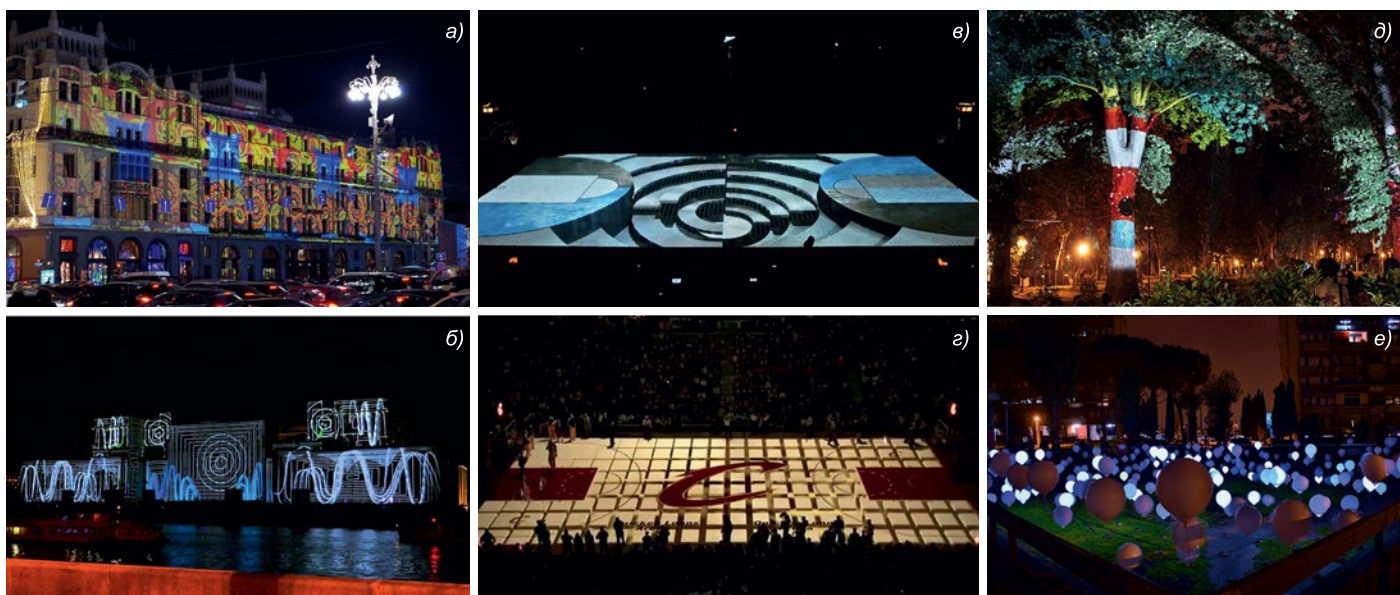


Рис. 1. Примеры видео-мэппинга: экстерьерного (а — здание гостиницы «Метрополь», Москва, шоу «Зимняя сказка», 2013 г., б — Фестиваль света, Москва, 2015 г., здание Минобороны России); интерьерного (в, г — праздничное спортивное шоу «Рождение новой баскетбольной команды «ЗЕНИТ», С.-Петербург, 2014 г. Автор: компания *Illuminarium 3000*); ландшафтного (д — композиция от итальянской компании *Apparati Effimeri*, е — римский Фестиваль света, 2015 г.)

мов внедрения ВМ в разнообразные сферы жизни горожан.

Ежегодная конференция «CG EVENT», посвящённая актуальным событиям и разработкам в области компьютерной графики, подтверждает, что использование статичных и динамичных проекций в разных сферах жизни стало приобретать массовый характер. Динамические приёмы подачи информации стремительно развились, отточились и рассматриваются как художественные средства выразительности нового медийного искусства.

Можно выделить три варианта взаимодействия архитектуры с аудиовизуальным искусством по степени глубины их интеграции:

1. Синтез искусств на основе архитектуры. Аудиовизуальный компонент входит в архитектурный замысел и используется в качестве одного из изобразительных средств формирования архитектурного образа. Действие ВМ развивается всегда по одному сценарию (рис. 2 и 3).

2. Синтетическая деятельность на равноправных началах по созданию художественной среды. Архитектурное сооружение (или только интерьер) заведомо спроектировано для предоставления оптимальных условий реализации множества сценариев (рис. 4–6). Каждый раз образуется временная художественная целостность.

3. Аудиовизуальное действие происходит без учёта специфики архитектурной компоненты. Проецирование осуществляется на любую подходящую по размеру фоновую поверхность, в том числе на архитектурную. Образные характеристики архитектуры не принимаются во внимание, более того, часто сознательно полностью разрушаются или искажаются (рис. 7).

Если в процессе проектирования архитектор сформировал творческую



Рис. 2. Синтез искусств на основе архитектуры. Центр современного искусства в Кордове, Испания, 2013 г., архитектурное бюро *Nieto Sobejano Arquitectos*

концепцию, где исходный замысел уже включал в себя ВМ как особое изобразительное средство, тогда можно говорить о новом синтезе искусств (рис. 2 и 3). Средства ВМ в этом случае не выходят за рамки одной из составляющих художественного образа архитектуры. Иногда визуальные эффекты локализуются на прозрачных фасадных или интерьерных поверхностях зданий, занимая их частично или полностью.

Экстерьерный ВМ, подразумевающий изменение и трансформацию образа существующего архитектурного объекта с захватом окружающего пространства, представляет собой совершенно иное явление. Акцент художественной деятельности переносится на аудиовизуальное действие (рис. 5). Образное единство в этом случае достигается с помощью художественных средств мэппинга. Архитекту-

ре отводится более скромная роль сложносоставной фоновой поверхности, включающей не только конкретное сооружение, но и всё пространство окружающей природной или урбанизированной среды. Этот вид медийного шоу отличается высокой стоимостью и кратковременностью существования.

В интерьерном ВМ возможны два варианта взаимодействия. Если световая инсталляция осуществляется в любом помещении, не подготовленном для неё специально, мы получаем фактически частичное или полное игнорирование архитектурной составляющей. Художественное действие переносится в сферу аудиовизуальных иллюзий. Как правило, это праздничные и презентационные мероприятия.

Во втором случае, когда интерьерное пространство и его поверх-

Рис. 3. Интерьерный видео-мэппинг. Синтез искусств на основе архитектуры. Оформление с помощью видео-мэппинга стен в офисе. Композиция фирмы *Apparati Effimeri*





Рис. 4. Интерьерный театральный видео-мэппинг. Театр танца *Anarchy Dance* (основан в 2010 г.), г. Тайбэй, Тайвань. Временная художественная целостность. Сочетание архитектурной и видео-составляющих на паритетных началах

ности задуманы и спроектированы с расчётом на проведение световых инсталляций и перформансов, синтетическая деятельность происходит на паритетных началах, образуя временную художественную целостность (рис. 4). Такие интерьерные пространства многофункциональны, допускают использование множества приёмов, и каждый раз вовлекают архитектуру в союз с новым сценарным замыслом.

Особенно динамично и ярко интеграционное взаимодействие архитектуры и ВМ происходит при использовании временных или мобильных архитектурных сооружений, где динамика визуальной образности сочетается с физическими трансформа-

циями, предусмотренными в архитектурном объекте.

В дополнение к кратко перечисленным формам интеграции архитектуры с искусством ВМ хотелось бы коснуться нескольких теоретических моментов, имеющих прямое отношение к рассматриваемой теме.

Визуальность как основа всех коммуникационных процессов

В современном информационном обществе постоянно возникают новые явления, связанные с усилением роли наглядных коммуникаций, появляются визуальные техники и практики, дополняющие или взаимодействующие друг с другом.

Для большинства людей зрительное восприятие — ведущий канал передачи сообщений. Отсутствие языкового барьера в пространстве визуальности, увеличение скорости трансляции информации — это качества, которые делают её востребованной не только в средствах массовой информации, но и в художественной деятельности.

Определяющую роль здесь играет бурное развитие компьютерных технологий. В виртуальном пространстве изобретаются новые инструменты и динамичные приёмы выразительности, позволяющие оказывать сильное впечатление на человека. Они используются и в массовом искусстве, и в искусстве элитарном. Достаточно взглянуть на анонс художественных

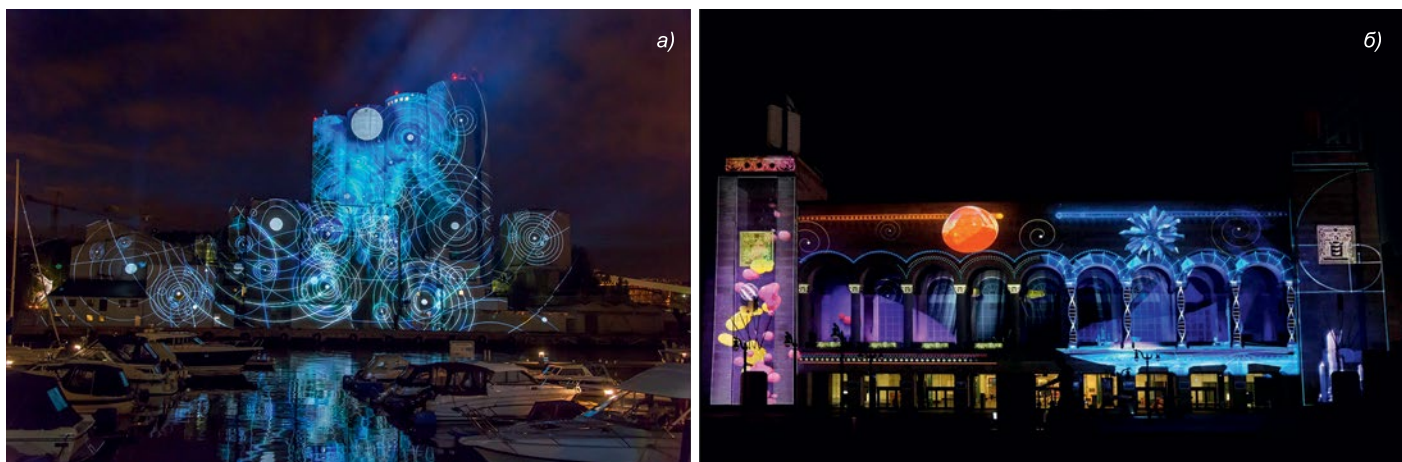


Рис. 5. Примеры игнорирования архитектурной составляющей в презентационном действе: а — Норвежский вестиваль, г. *Slemmestad*, 2014 г., автор: компания *Factory Light*
б — компания *Moment Factory*, оформление здания *Boardwalk Hall* в г. Атлантик Сити, шт. Нью-Джерси, США, 2012 г.

выставок, одновременно экспонирующихся в московских музеях.

На визуальную составляющую называются другие компоненты акта творчества. Полисенсорность художественного произведения вызывает ответный комплекс разнохарактерных ощущений у зрителей, то есть явление синестезии. Примерами синестезии являются ощущения цветного слуха, визуальные образы, вызванные тактильными ощущениями и наоборот. Синестезия работает как со-представление и со-чувствование, делающие процесс восприятия всеобъемлющим и запоминающимся [1]. Однако необходимо отметить, что в акционных визуальных шоу внимание к комплексным перцептивным ощущениям человека порой перевешивает цель развития его когнитивных способностей. То есть главной оказывается возможность максимального комплексного воздействия на зрителя вне зависимости от тех последствий, которые это воздействие оказывает. Визуальные искусства, основанные на компьютерных технологиях, демонстрируют стремление к моделированию и лёгкой изменчивости виртуальных реальностей, не имеющих прямого отношения к отражению или изучению реальности физической.

Массовость

Ещё одной характерной чертой синтетической деятельности, куда входит и союз архитектуры с медийными искусствами, является массовость. Многие авторы придерживаются мнения, что в современной художественной деятельности получили развитие идеи авангарда начала XX века о повсеместном распространении искусства, о стирании границ между искусством и утилитарной жизнью. При более внимательном рассмотрении разница между взглядами начала XX и начала XXI веков становится существенной.

Явная востребованность авангардного искусства начала XX века действительно была связана с установками на массовость. Русский авангард всегда опирался на движение масс, на массовую идеологию и психологию, на массовое восприятие, причём именно тогда он и добивался успеха, достигая пика своей популярности и авторитетности. Это происходило, несмотря на явный диссонанс



Рис 6. «Glow festival» в итальянском г. Ostuni. Сочетание архитектурной и видео-составляющих на паритетных началах

между элитарностью творческих концепций и массовостью культуры, её задач и искомым результатов. Массовость в понимании виднейших деятелей Русского авангарда была основана не на понимании произведений искусства или творческого замысла мастера, а на самой атмосфере вокруг творчества, его новизне [2]. Для общественных масс эта позиция совпадала с позицией молодого российского государства, заявившего о создании нового справедливого общественного устройства и противопоставившего себя подавляющему числу государств мира.

В настоящее время массовость в художественной деятельности также основана на остром сознании происходящего переустройства жизни, изменения её форм, скорости протекания обыденных и уникальных процессов. Отсутствует только основная в прошлом посыл о социальном переустройстве общества. Ожидаемые изменения касаются скорее внешних сторон жизни и деятельности человека.

Результатом взаимодействия искусств в эпоху постмодернизма становится расширение пространства искусства, вхождения в него но-

вых синтетических жанров, апеллирующих к синестезийному восприятию [1]. Перед архитекторами, художниками, аниматорами, стоит задача по пересмотру отношения к обыденности и включению её в общую картину художественного восприятия мира. Происходит сближение уровней мышления бытового и художественного.

Массовость художественной деятельности сопряжена сегодня с понятием доступности. Появился определённый, легко осваиваемый, уровень владения компьютерными изобразительными средствами. Возможности разных художественных техник заложены в компьютерных программах и пользователю остаётся только сочетать их в произвольном самовыражении.

Ещё одним важным качеством синтетической художественной деятельности, в которой участвует архитектура, является интерактивность. Экстерьерный и интерьерный ВМ легко входят в контакт со зрителем, провоцируя его на проявление двигательной и интеллектуальной активности как части творческого акта.

Интерактивность входит и в функции элитарного искусства, тяготею-

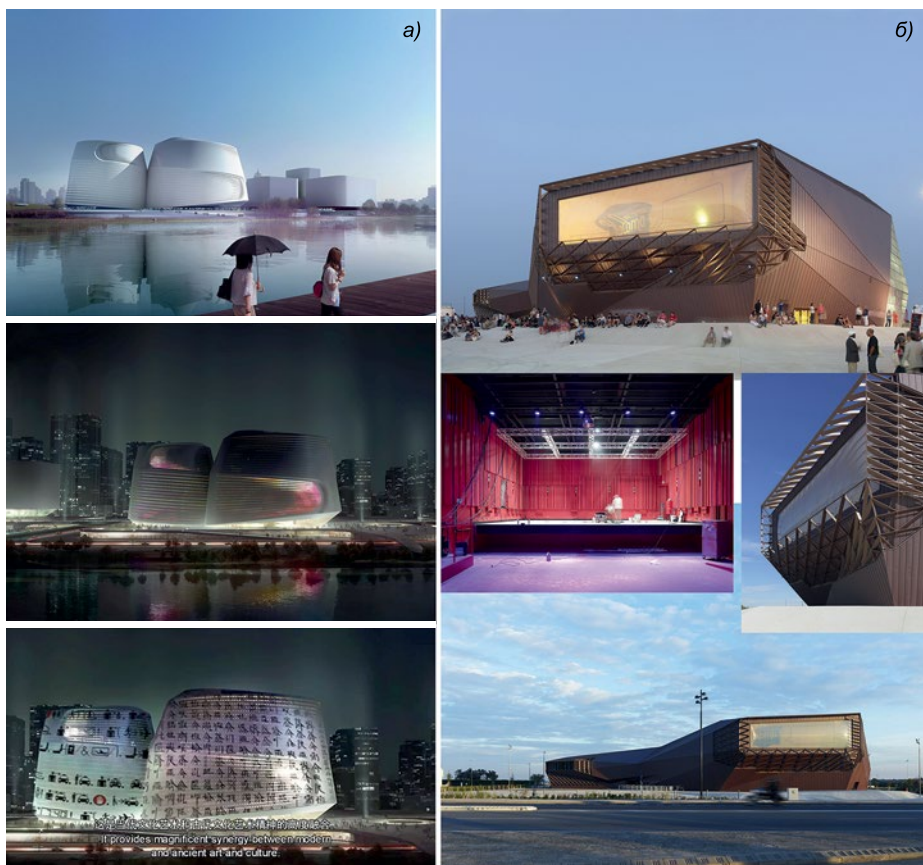


Рис. 7. Примеры гармоничного сочетания архитектуры и видеоискусства. Временная художественная целостность. Видео-мэппинг как средство формирования архитектурного образа: *а* – конкурсный проект (Национальный художественный музей, Пекин, КНР, 2010 г., архитектурное бюро *UNStudio*; *б* – Центр современной музыки *PALOMA*, г. Ним, Франция, арх. студия *Tétrarc Architects*

щего к концептуализму. Одна из востребованных форм проявления элитарного искусства сегодня – перформанс. Развитие медийных форм искусства смыкается с актуальной для перформанса идеей дематериализации. Внимание и автора, и зрителя смещается на поиск смысла в процессе возникновения или представления произведения искусства [3]. Зритель сам решает, готов ли он принять участие в действии.

В общей ориентации на создание и потребление видимостей постоянно встают вопросы о судьбе современного человека-зрителя. Одной из настораживающих тенденций является распространение так называемого «клипового мышления». Оно рождается на основе необходимости реагирования на скоростную подачу информации, основанную на слабо связанных между собой визуальных образах. Отличительными чертами клипового мышления является прерывистость информации и простота суждений, содержащаяся в каждом смысловом фрагменте. Непрерыв-

ный информационный поток требует освобождения пространства памяти для восприятия следующей порции информации.

Появление аудиовизуальных форм искусства, их взаимодействие с архитектурой нельзя причислить к временным явлениям. Оно будет расширяться. И это выводит на первый план проблемы психозтики. Важнейшее значение приобретает уровень образованности и воспитания личности, способной самостоятельно прокладывать путь в любом информационном пространстве, вне зависимости от навязываемых ему ссылок гипертекста или гиперпространства.

В заключение хотелось бы отметить, что в современном информационном обществе, основанном на совместном использовании реального и виртуального пространств, происходят изменения практически во всех видах деятельности, в частности архитектура подвергается интеграции с принципиально новыми аудиовизуальными средствами выразительности.

Изучение степени их взаимодействия, от синтеза искусств на основе архитектуры до систематической деятельности с акцентом на разных её составляющих, становится актуальной задачей архитектурного дискурса. Непреходящий характер интеграции визуальных искусств с архитектурой, агрессивность новых форм художественной деятельности ставит перед учёными и педагогами новые задачи по созданию современных образовательных технологий, соответствующих уровню запросов информационного общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцева М.Л.* Феномен синестезии в искусстве постмодернизма. URL: http://e-notabene.ru/psp/article_13379.html (дата обращения: 01.2016).
2. *Иньшакова Е.Ю.* На грани элитарной и массовой культур (к осмыслению игрового пространства русского авангарда) // *Общественные науки и современность*. – 2001. – № 1. – С. 162–174.
3. *Фадеева А.* Мир искусства и мир перформанса. URL: http://uchit.net/catalog/Kultura_i_iskusstvo/101364 (дата обращения: 01.2016).



Барчугова Елена Викторовна,
кандидат архитектуры, доцент. Окончила в 1978 г. Московский архитектурный институт (МАрХИ). Профессор МАрХИ (ГА), старший

научный сотрудник Лаборатории архитектурного формообразования НИИТИАГ РААСН и Лаборатории компьютерных технологий МАрХИ (ГА). Член Союза архитекторов



Рочегова Наталия Александровна,
кандидат архитектуры, доцент. Окончила в 1970 г. Московский архитектурный институт (МАрХИ). Профессор МАрХИ

(ГА), советник РААСН, старший научный сотрудник Лаборатории архитектурного формообразования НИИТИАГ РААСН и зав. Лабораторией компьютерных технологий МАрХИ (ГА). Член Союза архитекторов

Энергоэффективное управление мощностью оптического излучения в беспроводной связи через видимый свет¹

И. ДИН¹, Х. КИМ²

¹ Инчхонский национальный университет, Инчхон, Республика Корея

² Электротехнический факультет Корейского института передовых технологий (KAIST), Тэджон, Республика Корея

E-mail: Irfan07@kaist.ac.kr

Аннотация

Два основных назначения систем беспроводной связи через видимый свет (*Visible Light Communication, VLC*) – управление освещением (светорегулирование) и связь. Эти функции выполнимы одновременно, что снижает полное энергопотребление систем *VLC*. В статье формулируется задача оптимизации, решение которой позволяет минимизировать энергопотребление светодиодных ламп, входящих в состав систем *VLC*, и одновременно удовлетворять требованиям потребителей как к освещению, так и к связи. Эффективность предложенного решения оценивалась путём компьютерного моделирования, которое показало его способность снижать энергопотребление систем *VLC* на 30% по сравнению с традиционными решениями.

Ключевые слова: мощность оптического излучения, энергопотребление, широтно-импульсная модуляция, управление освещением.

1. Введение

Вид связи, в котором в качестве передатчика применяется источник видимого света, известен как *VLC*. Видимая область спектра охватывает длины волн от 380 до 780 нм, что соответствует частотному диапазону примерно 384–789 ТГц [1]. Этот диапазон практически безграничен, охватывая полосу частот шириной порядка 400 ТГц [2]. Видимая область спектра в последнее время привлекает повышенное внимание в плане её использования для высокоскоростной *VLC* в помещениях.

Светодиоды (СД) считаются источниками света очень важными для экономии электроэнергии, расходуемой на внутреннее освещение [3]. Благодаря своей безынерционности СД могут использоваться в средствах связи в качестве передатчика, свет которого модулируется информационными сигналами. Так как *VLC* объединяет в себе передачу данных и светорегулирование, то *VLC* с использованием СД привлекла большое внимание и заняла достойную нишу в беспроводной связи.

Светорегулирование, являющееся важной особенностью современных систем освещения, обеспечивается главным образом широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) или изменением глубины модуляции под воздействием входного управляющего сигнала. Был предложен целый ряд разных вариантов модуляции для управления освещением и передачи данных с помощью СД [4–6]. Было также предложено [7] совместить функции светорегулирования и передачи данных в *VLC*, в которой пере-

дача данных обеспечивается фазово-импульсной модуляцией поднесущей, а светорегулирование осуществляется посредством ШИМ или изменения глубины модуляции. В нашей предшествующей работе [8] мы оптимизировали параметры фазово-импульсной модуляции для минимизации энергопотребления системы *VLC* при одновременном удовлетворении требований потребителей как к освещению, так и к связи.

Данная работа посвящена системам *VLC* с ШИМ для светорегулирования и связи. При этом основное внимание уделяется оптимизации принимаемой мощности оптического излучения (МОИ) и освещённости, позволяющей снижать энергопотребление систем *VLC*, одновременно удовлетворяя требования потребителей к освещению и к связи. Задача оптимизации касается определения оптимальных значений ширины входных ШИМ-сигналов с учётом ограничений по светорегулированию и связи.

2. Модель системы

В данной работе *VLC* рассматривалась применительно к помещениям (рис. 1). Принималось, что L идентичных СД-ламп равномерно распределены по потолку помещения и что пол разделён на J одинаковых квадратных клеток (или «рабочих зон»). Считалось, что СД-лампы, входящие в систему *VLC*, могут использоваться для обеспечения связи, то есть работать как передатчики этой системы, и что приёмные устройства со стороны пользователей содержат фотодиоды. И для простоты линия связи, рабо-

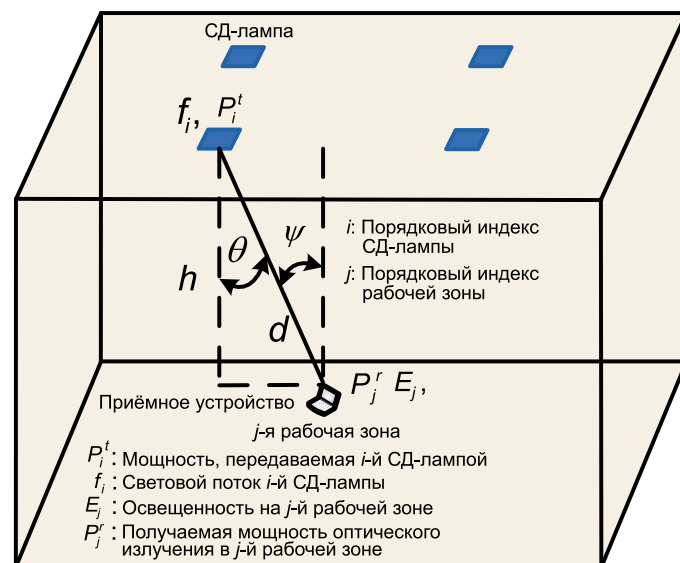


Рис. 1. Модель системы *VLC* для помещений

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

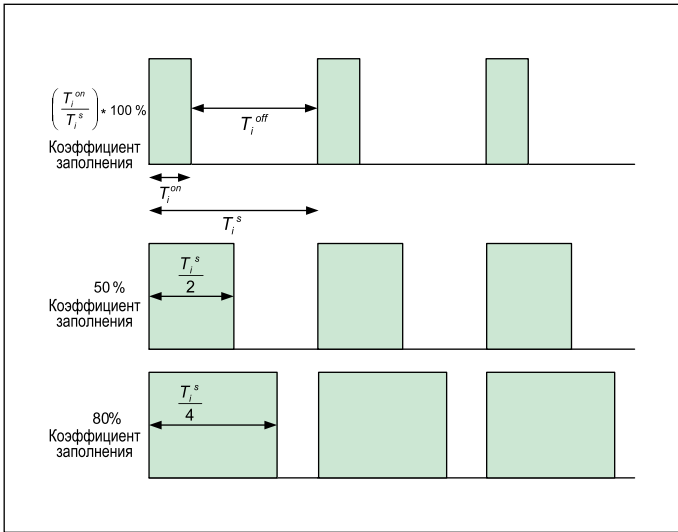


Рис. 2. Формы ШИМ-сигналов с разными коэффициентами заполнения

тающая в пределах прямой видимости, считалась общей и для связи, и для светорегулирования.

2.1. Модуляция

Мы считаем, что обеспечиваемая ШИМ амплитудная манипуляция (*On Off Keying, OOK*) предназначена для передачи данных и управления светом. *OOK* – это простейший вид модуляции, в рамках которой двоичным единице и нулю соответствуют наличие или отсутствие несущей волны на заданном отрезке времени. Средняя мощность принимаемого фотодиодом оптического сигнала P_r прямо пропорциональна его амплитуде A : $P_r = A/(2 \cdot R)$, где R – чувствительность фотоприёмника. При скорости передачи данных передатчика с *OOK*, равной R_b , будет передаваться за секунду R_b прямоугольных импульсов длительностью $1/R_b$. Интенсивность импульса, соответствующего бинарной единице, равна $2 \cdot P$, а бинарному нулю соответствует нулевая интенсивность импульса, то есть отсутствие импульса.

Для оценки работы системы передачи данных ключевым параметром является коэффициент битовых ошибок *BER*, который можно определить как отношение количества битовых ошибок к общему количеству переданных битов. Для обеспечения приемлемой вероятности ошибок *BER* должен быть меньше 10^{-6} [9]. В случае *OOK* *BER* можно рассчитывать по формуле

$$BER_{ook} = Q \left(\sqrt{\frac{2R^2 P_r^2}{N_o R_b}} \right), \quad (7)$$

где N_o – спектральная плотность распределения мощности гауссовского дробового шума. Дробовой шум представляет собой совокупность шума, обусловленного искусственным освещением со спектральной плотностью распределения мощности N_i и дробового шума, обусловленного естественным освещением, со спектральной плотностью распределения мощности N_s [10]. Величину N_o можно рассчитывать по формуле

$$N_o = N_i + N_s = q \cdot (I_{bi} + I_{bs}),$$

где q – заряд электрона, а I_{bi} и I_{bs} – фототоки, обусловленные искусственным и естественным освещением соответственно.

BER зависит от принимаемой мощности, а так как все прочие входящие в уравнение (1) параметры являются константами, то средняя мощность оптического излучения, требующаяся для обеспечения заданного значения *BER* (P_{req}), в случае *OOK* можно рассчитывать по формуле

$$P_{req} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{N_o R_b}{2}} Q^{-1}(BER).$$

Форма ШИМ-сигнала показана на рис. 2. Период символа T_i^s разделён на два подпериода T_i^{on} и T_i^{off} , где индекс i обозначает сигнал соответствующего СД. Подпериоду T_i^{on} соответствует наличие сигнала, и в этом подпериоде происходит передача сигнала, имеющего амплитуду k . Подпериоду T_i^{off} соответствует отсутствие сигнала, то есть в этом подпериоде сигнал не передаётся. Ширина подпериода T_i^{on} пропорциональна передаваемой мощности оптического излучения и силе света СД. Изменяя ширину подпериода T_i^{on} можно получить требуемый коэффициент заполнения (рис. 2).

2.2. Освещение

Количество света, излучаемого СД, определяется его световым потоком f , который описывается выражением

$$f = K_m \cdot \int_{380}^{780} V(\lambda) \cdot f_e(\lambda) \cdot d\lambda,$$

где K_m – максимальная спектральная световая эффективность излучения, $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения, $f_e(\lambda)$ – спектральная плотность потока излучения [6]. Сила света I , представляющая собой световой поток, излучаемый в единице телесного угла Ω , рассчитывается по формуле

$$I = df/d\Omega.$$

Применительно к ШИМ-сигналу излучаемый световой поток равен

$$f_i = N_i \cdot f_{max},$$

где N_i – отношение подпериода, в котором имеется сигнал, к периоду символа ($N_i = T_i^{on} / T_i^s$), f_i – световой поток i -го СД, а f_{max} – максимальное значение светового потока, который может быть получен в случае ШИМ-сигнала с $T_i^{on} = T_i^s$.

При проектировании системы освещения интерес представляет значение освещённости e , измеряемое в люксах и определяемое приходящимся на единицу поверхности световым потоком [5]:

$$e = I(\theta) / r^2,$$

где $I(\theta)$ – сила света источника света в направлении θ , r – расстояние между источником света и рассматриваемой

точкой. Для косинусного распределения излучения источника света, горизонтальную освещённость в точке j , находящейся на расстоянии r метров от источника света, можно рассчитать по формуле

$$e_j = \frac{I_0 \cos^m(\theta) \cos(\psi)}{r^2}, \quad (2)$$

где I_0 – максимальное значение силы света, описываемое формулой

$$I_0 = I(0) = (m+1)f / (2\pi),$$

Ψ и θ – углы падения и излучения соответственно [11], m – порядок косинусного распределения, определяемый половиной угла, соответствующего уровню 0,5 силы света СД:

$$m = \frac{\ln 2}{\ln \cos(hpa)},$$

где hpa – угол, соответствующий половине максимальной силы света СД (например, при $hpa = 60^\circ$ $m = 1$). Подставив I_0 в уравнение (2), получаем следующее выражение для расчёта освещённости в точке j , создаваемой i -й СД-лампой:

$$e_{ij} = \frac{f_i(m+1) \cos^m(\theta) \cos(\psi)}{2\pi r^2}. \quad (3)$$

Полная освещённость, создаваемая L СД-лампами в точке j , может быть определена посредством суммирования освещённостей, создаваемой отдельными СД-лампами:

$$E_j = \sum_{i=1}^L e_{ij}. \quad (4)$$

2.3. Передача данных

Мощность передаваемого СД оптического излучения определяется интегрированием потока энергии по всем направлениям:

$$P_t = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \int_0^{2\pi} f_e \cdot d\theta d\lambda,$$

где λ_{max} и λ_{min} определяются кривой спектральной чувствительности фотодиода [5].

Мощность, передаваемая СД в случае входного ШИМ-сигнала, рассчитывается по формуле

$$P_i^t = N_i \cdot P_{max}^t,$$

где P_i^t – мощность, передаваемая i -й СД-лампой, P_{max}^t – максимальное значение МОИ, которое может быть получено в случае ШИМ-управляющего сигнала с $T_i^{on} = T_i^s$.

Если рассматривать прямой свет, то есть свет в пределах прямой видимости, то часть МОИ i -й СД-ламп P_i^t , попадающая на приёмник (фотодиод), расположенный в точке j выражается как

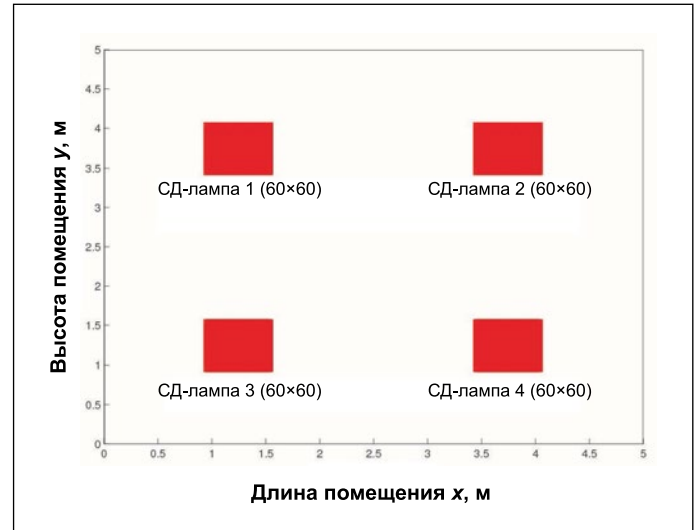


Рис. 3. Расположение СД-ламп

$$P_{ij}^r = H(0) P_i^t,$$

где $H(0)$ – коэффициент усиления канала по постоянному току, выражаемый как [12]

$$H(0) = \begin{cases} \frac{A(m+1)}{2\pi r^2} \cos^m(\theta) \cos(\psi) g(\psi) T_s(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases}$$

где A_r – эффективная площадь приёмника, $g(\Psi)$ и $T_s(\Psi)$ – коэффициент усиления оптического концентратора и коэффициент пропускания оптического фильтра соответственно. $g(\Psi)$ описывается выражением

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c}, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases}$$

где n – показатель преломления. Принимаемая в точке j МОИ i -й СД-ламп рассчитывается по формуле

$$P_{ij}^r = P_i^t \frac{A_r(m+1)}{2\pi r^2} \cos^m(\theta) \cos(\psi) g(\psi) T_s(\psi), \quad (5)$$

где A_r – эффективная площадь приёмника. Полная принимаемая в точке j МОИ L светильников с СД может быть определена посредством суммирования принимаемых в этой точке мощностей оптического излучения отдельных СД-ламп:

$$P_j^r = \sum_{i=1}^L P_{ij}^r. \quad (6)$$

3. Постановка задачи

Целью предлагаемого решения является минимизация полного энергопотребления при условии удовлетворения

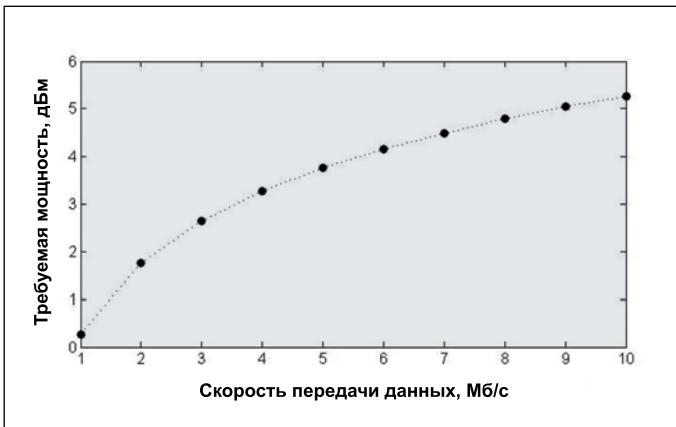


Рис. 4. Зависимость требуемой мощности от скорости передачи данных при $BER = 10^{-6}$

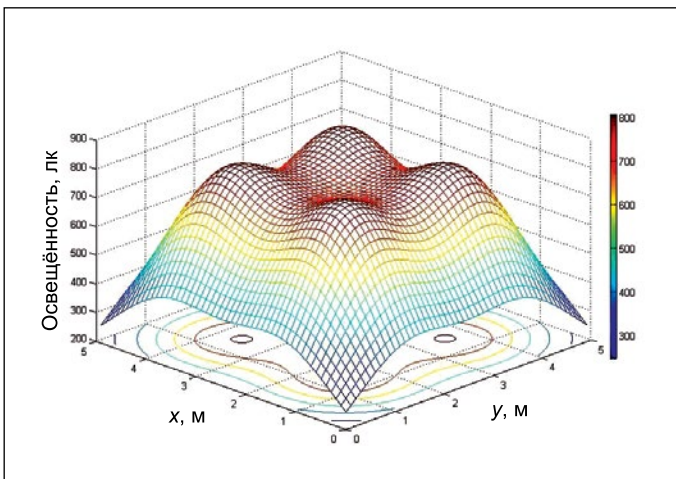


Рис. 5. Распределение освещённости

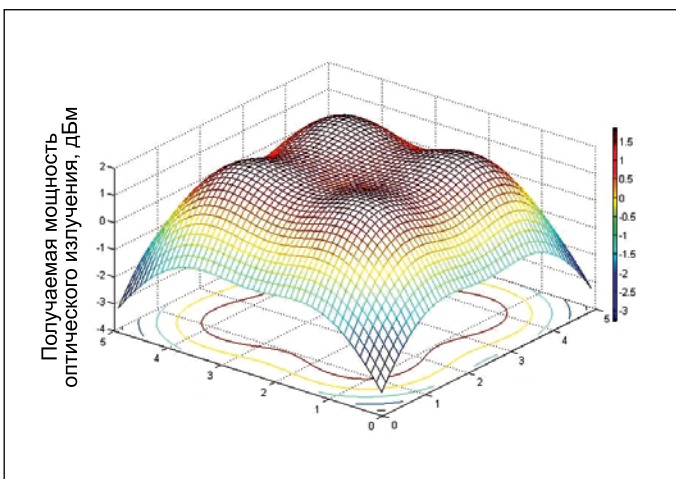


Рис. 6. Распределение получаемой мощности оптического излучения

требований потребителей как к освещению, так и к связи. Считая энергопотребление пропорциональным продолжительности подпериода наличия ШИМ-сигнала, цели можно достичь минимизацией N_i , то есть минимизацией T_i^{on} . Задача состоит в нахождении оптимального значения T_i^{on} , которое обеспечивало бы удовлетворение требований как к освещению, так и к передаче данных. Задача оптимизации может быть сформулирована как

$$\min_{N_i} \sum_i^L f_i \quad (7)$$

при условии, что

$$P_j^r \geq P_{req} \text{ при всех } j, \quad (8)$$

$$E_j \geq E_{req} \text{ при всех } j, \quad (9)$$

$$0 \leq T_i^{on} \leq T_i^s, \quad (10)$$

где P_{req} и E_{req} – требуемые значения принимаемой МОИ и освещённости соответственно. Целевая функция описывается выражением (7), которое призвано минимизировать полный световой поток всех СД-ламп и тем самым, минимизировать полное энергопотребление системы. Накладываемые ограничения соответствуют выражениями (8)–(10). Ограничения (8) и (9), обеспечивают выполнение требований к минимально допустимым значениям принимаемой МОИ и освещённости. Ограничение на T_i^{on} (10) определяет собой возможности по светорегулированию и накладывает ограничения на МОИ, передаваемую СД-источником света.

4. Оценка работы системы

Оценка работы предложенного варианта *VLC* производилась с помощью моделирования применительно к помещению, показанному на рис. 1. Были рассмотрены четыре СД-лампы, позволяющие осуществлять *VLC*, которые были установлены на высоте 3 м над уровнем пола. Считалось, что каждая лампа содержала 60×60 СД, расположенных на расстоянии 1 см друг от друга. Осевая сила света СД считалась равной 0,73 кд, а угол излучения (*semi-angle at half-power*) – равным 60° . Расположение СД-ламп на потолке помещения показано на рис. 3, а в таблице приведены типичные параметры, которые использовались при моделировании.

На рис. 4 при $BER = 10^{-6}$ приведено сравнение требуемой МОИ в случае входного ШИМ-сигнала при изменении скорости передачи данных от 1 до 10 Мб/с. Можно заметить, что при заданном значении *BER* требуемая МОИ с ростом скорости передачи данных растёт.

Принимаемая МОИ и освещённость на поверхности стола высотой 0,85 м в каждой из рабочих зон рассчитывались по уравнениям (5)–(6) и (3)–(4) соответственно. На рис. 5 приведено распределение освещённости на уровне поверхности стола. Можно заметить, что освещённость во всём помещении превышает требуемую, то есть 400 лк, за исключением углов, где уровень освещённости оказался несколько меньше 400 лк. Однако площадь угловых участков очень мала, и потребители обычно в них не располагаются.

На рис. 6 приведено распределение МОИ, обусловленное прямым излучением СД-ламп. В работе [13] было получено минимальное значение МОИ, равное $-2,8$ дБ, которое считается минимальным требованием к получаемой МОИ. Минимальный уровень МОИ обеспечивается во всех точках рассматриваемого помещения.

Из рис. 5 и 6 следует, что достаточные значения освещённости и МОИ обеспечены во всём помещении, то есть требования к освещению и связи удовлетворены

Параметры системы

Параметр	Значение
Размеры помещения, м	5 × 5 × 3
Количество СД-ламп, шт.	4
Высота поверхности стола, м	0,85
Количество СД в лампе	3600 (60 × 60)
Расстояние между СД, см	1
Мощность одного СД, мВт	20
Осевая сила света, кд	0,73
Угол излучения на уровне 0,5, град.	60
Чувствительность фотодиода	0,4
Диаметр приёмной поверхности фотодиода, см	1
Поле зрения приёмника, град.	120
Показатель преломления концентратора	1,5

в нём целиком. Сравнение уровней энергопотребления в случае предложенного варианта решения и в случае традиционной решения, с использованием ШИМ-сигнала с 50%-ным фиксированным коэффициентом заполнения, показало, что предложенный вариант решения приводит к снижению энергопотребления системы на 32%.

Данное исследование финансировалось Министерством образования Республики Корея через Корейский национальный исследовательский фонд. Часть полученных результатов была представлена на 28-й Международной технической конференции по схемам/системам, компьютерам и связи («ITC–CSCC2013»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Christian, P.* Visible Light Communication // Seminar Kommunikations standards in der Medizintechnik. URL: http://www-old.itm.uni-luebeck.de/teaching/ss10/sem_kim/ausarbeitungen/2010-06-29%20Pohlmann.%20Visible%20Light%20Communication.pdf?lang=en.
2. URL: <http://www.lificonsortium.org/>.
3. *Babanova, J.B., Lunchev, V.A.* Energy Saving Capabilities when using Control Systems for Interior Illumination // Light & Engineering. – 2012. – Vol. 20, No. 1. – P. 58–65.
4. *Wu, Z., Chau, J., Little, T.* Modeling and Designing of a New Indoor Free Space Visible Light Communication System / 16th European Conf. on Networks and Optical Communications (NOC), IEEE. – 2011. – P. 72–75.
5. *Jang, H.J., Choi, J.H., Ghassemlooy, Z., Lee, C.G.* PWM-based PPM Format for Dimming control in visible light communication / 8th Int. Symp. on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP). – 2012. – P. 1–5.
6. *Lee, K., Park, H.* Modulations for Visible light Communications with Dimming Control // IEEE Photonics Technology Letters. – 2011. – Vol. 23. – P. 1136–1138.
7. *Sugiyama, H., Haruyama, S., Nakagawa, M.* Brightness Control Methods for Illumination and Visible-Light Communication Systems / Proc. 3rd Int. Conf. on Wireless and Mobile Communications (ICWMC'07), 2007.

8. *Din, I., Kim, H.* Energy-Efficient Brightness Control and Data Transmission for Visible Light Communication // IEEE Photonics Technology Letters. – 2014. – Vol. 26, No. 8.

9. *Ascenso, J.* e-Business and Telecommunication Networks. – Springer, 2006.

10. *Liu Yuan-jian, Shi Qin-jian, Ma Xue, Zhang Ye-rong.* Simulation and Analysis of Indoor Visible Light Propagation Characteristics Based on the Method of SBR/Image // Int. Journal of Antennas and Propagation. – 2014. – Vol. ID905916.

11. *Grubor, J., Jamett, O.C.G., Walewski, J.W., Randel, S., Langer, K.D.* High-Speed Wireless Indoor Communication via Visible Light. – ITG-Bachbericht, 2007.

12. *Kahn, J.M., Barry, J.R.* Wireless infrared communication / Proc. of the IEEE, IEEE. – 1997. – Feb. – P. 265–298.

13. *Komine, T., Nakagawa, M.* Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2004. – February. – P. 100–107.



Ирфануд Дин (Irfanud Din), Ph.D. Доцент
Университета Инха, Ташкент, Узбекистан



Хун Ким (Hoon Kim), Ph.D. Доцент
факультета электронной техники
Инчонского национального университета.
Член Корейского института связи,
Института инженеров по электротехнике
и радиоэлектронике (США), Института
инженеров по электронике, информатике
и связи (Япония)

Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D»

С. Ю. АРАПОВ, С. П. АРАПОВА, А. Г. ТЯГУНОВ

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург
E-mail: arapova66@el.ru

Аннотация

На основе галогенной лампы накаливания с интерференционным фильтром и светодиодных излучателей создан гибридный лабораторный источник света (ГЛИС), близкий по спектру к стандартным излучателям МКО серии «D». Рабочие значения коррелированной цветовой температуры ГЛИС могут варьироваться от 5000 до 6500 К. Приведены характеристики ГЛИС, полученные в соответствии со стандартом *ISO 3664:2009*. Описан алгоритм автоматизированной системы управления световым потоком и рассмотрены возможные варианты применения ГЛИС.

Ключевые слова: гибридный, лабораторный, источник света, стандартный излучатель МКО, светодиодный модуль, галогенная лампа, интерференционный фильтр, источник дневного света, визуальный контроль, цветность, управление световым потоком.

Введение

Проблема визуальной оценки цвета отражающих объектов постоянно возникает в промышленности и неизбежно приводит к вопросу о применимости тех или иных искусственных источников света. Процесс эволюции стандартов на искусственное освещение известен [1]. Введённые МКО в 1931 г. стандартные излучатели «B» и «C» имели вполне конкретную конструкцию — на основе ламп накаливания с жидкостными фильтрами — и были предназначены для моделирования реального естественного света. Существенный недостаток этих излучателей — заниженная по сравнению с естественным светом доля фиолетовой части спектра. Впоследствии, из-за широкого внедрения флуоресцентных отбеливателей в производстве бумаги, пластмасс и тканей, излучатели «B» и «C» потеряли свою актуальность и были заменены в 1963 г. излучателем «D», который не имел этого недостатка. При этом для излучателя «D» никакой стандартной физической реализации не предлагалось.

На сегодняшний день излучатели серии «D» успешно используются для колориметрических расчётов в разных компьютерных системах управления цветом, но по-прежнему актуальна проблема создания соответствующих условий искусственного освещения для визуальной сравнительной оценки результатов. Качество практически применяемых для этого источников света можно оценить по методикам, предлагаемым в публикации МКО 051.2–1999 и в стандарте *ISO 3664:2009*. Мировой опыт разработки симуляторов излучателя «D» был позднее обобщён в публикации МКО 192:2010, которая во многом перекликается с работой [1], но при этом сделан вывод о нецелесообразности утвержде-

ния какой-либо конструкции, имитирующей излучатель «D», в качестве стандарта.

В полиграфии распространены специальные люминесцентные лампы с коррелированной цветовой температурой T_c 5000–5500 К и высоким общим индексом цветопередачи R_a — порядка 95–97. Неоднократно подчёркивалось, что при достаточно высоком R_a спектр люминесцентных ламп далёк от естественного дневного. Современный уровень технологий сделал широко доступными специализированные по спектру источники света на основе других физических принципов. В первую очередь это модульные светодиодные (СД) источники, снабжённые системами управления спектральными компонентами [2, 3, 4–7]. Прогресс технологии нанесения нанопокровов позволил наладить выпуск галогенных ламп накаливания (ГЛН), снабжённых интерференционными фильтрами, по вполне доступным ценам. На отечественном рынке хорошо известны ГЛН «Decostar 51 Cool Blue» (далее — «DS51CB») производства *Osram*, которые также могут использоваться в лабораторно-исследовательских целях [8]. ГЛН с интерференционным фильтром можно в каком-то смысле рассматривать как современный аналог излучателей «B» и «C», с их недостаточной фиолетовой долей спектра. В то же время существует множество доступных СД-источников света с большой коротковолновой долей излучения в видимой области спектра.

Таким образом, представляется интересной и актуальной задача создания на данной элементной базе доступного источника света, близкого по спектру к излучателю «D» и допускающего возможность регулирования спектра.

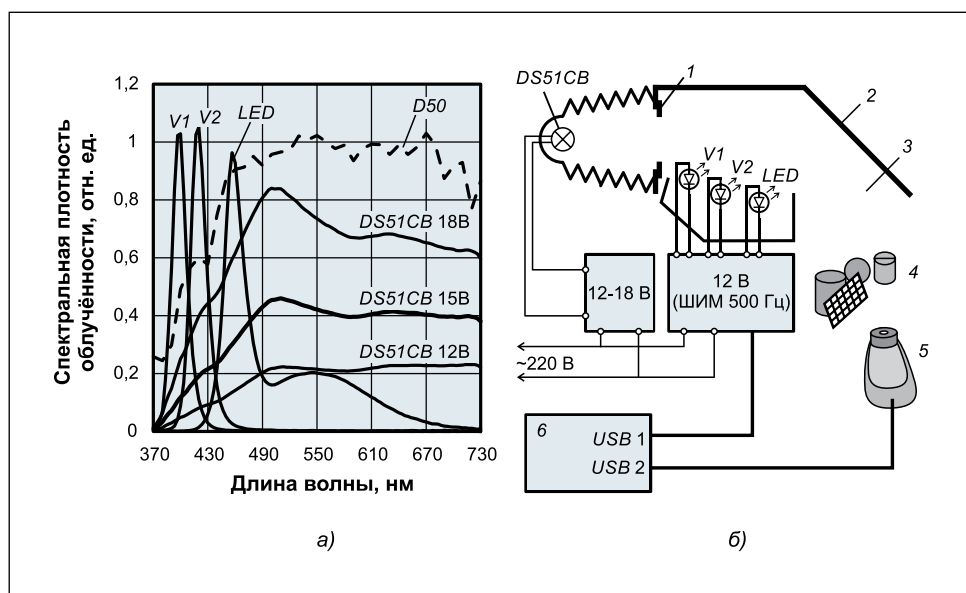
Конструкция источника света

В основе получения желаемого спектрального состава излучения гибридного лабораторного источника света (ГЛИС) лежит смешение потоков света от различных излучателей. Ориентиром был выбран спектр излучателя «D» с T_c от 4500 до 6500 К, а в качестве исходных компонентов — ГЛН «DS51CB» с интерференционным фильтром, а также белый и два фиолетовых СД-источника света.

Спектральный состав излучения компонентов (рис. 1, а) хорошо соответствует поставленной задаче, а различие физических принципов получения света отражено в названии «гибридный».

Конструкция ГЛИС приведена на рис 1, б. Соединение гофрированного кожуха и диафрагмы 1 позволяет выделять часть излучения ГЛН с удовлетворительным спектром, а также регулировать поток излучения за счёт приближения к отражателю. Смешение потоков производится на диффузном отражателе 2. Подача питания на

Рис. 1. Гибридный лабораторный источник света (ГЛИС): а – спектры излучателей: V1 (400 нм) и V2 (420 нм) – фиолетовые СД со спектрами $S_{V1}(\lambda)$ и $S_{V2}(\lambda)$, LED – холодно-белый СД со спектром $S_{CW}(\lambda)$, «DS51CB» – ГЛН «Decostar 51 Cool Blue» (с дихроичным фильтром) и её спектры $S_{DS}(\lambda)$ при разных напряжениях питания (12, 15 и 18 В), пунктиром обозначен один из целевых спектров – «D50»; б – конструкция ГЛИС: 1 – регулируемая диафрагма, 2 – диффузный отражатель, 3 – излучающий створ прибора, 4 – рабочая зона источника с размещёнными в ней объектами, 5 – спектрофотометр «i1Pro», 6 – управляющий компьютер



СД-источники осуществлялась через мосфеты $P16NF06$, управляемые ШИМ-выходами широко распространённого контроллера «Arduino Uno» («ATmega328P»). Частота ШИМ-выходов у «Arduino Uno» – примерно 500 Гц при восьмиразрядной регулировке скважности, что вполне приемлемо для решаемой задачи. Выбор «Arduino Uno» обусловлен также наличием открытого пакета «Arduino IO» для управления его работой из среды «Matlab». В этом случае в контроллер загружается программа-монитор, транслирующая поступающие через интерфейс USB из «Matlab» команды на выходы контроллера. Питание ГЛН осуществлялось независимым импульсным источником с ручной регулировкой выходного напряжения от 12 до 18 В. Спектры полученного излучения и отдельных компонентов измеряются распространённым спектрофотометром «i1Pro» (компания X-Rite), в комплексе с открытым программным обеспечением «Argyll CMS».

Основное назначение «i1Pro» – измерение спектров отражения печатных оттисков в соответствии с требованиями стандарта ISO 13655:2009, необходимое при построении ICC-профилей в компьютерных системах цветорегулирования. Кроме работы со спектрами отражения «i1Pro» имеет режим измерения спектральной плотности облучённости ($\text{мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{нм})$), и в комплекте имеется косинус-корректирующая насадка. Предусмотрен также режим «высокого разрешения», в котором спектральные данные выдаются с шагом 3,33 нм (три отсчёта на каждые 10 нм) для 109 спектральных зон в интервале от 370–730 нм.

Перечень характеристик «i1Pro», на официальном сайте компании X-Rite, весьма ограничен. Спектральный анализатор «i1Pro» построен на дифракционной решётке и 128-пиксельной фотодиодной линейке. Физический интервал дискретизации спектра – 3,5 нм, оптическое разрешение – 10 нм. Столь широкополосный измерительный тракт позволяет получать на выходе высокий уровень сигнала и достигать высокой скорости измерений, соответствуя требованиям ISO 13655:2009 (шаг дискретизации 10 нм). При считывании контрольных оттисков «i1Pro» производит 200 измерений в секунду. Спектр излучения рассчитывается внутренним процессором при-

бора и передаётся в управляющий компьютер. К сожалению, решение задачи оценки систематической погрешности «i1Pro» на основе представленной информации невозможно, к тому же она неизбежно должна зависеть от вида спектра. Случайная погрешность в проводившихся экспериментах не превышала $0,24 \text{ мВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{нм})$ при $p = 0,95$.

Очевидно, что разрешение в 10 нм не подходит для точной колориметрии излучателей с узкими пиками в спектре. Так, в публикации МКО 127:2007 точное измерение спектров СД рекомендовано производить с разрешением 5 нм и шагом дискретизации 2,5 нм. В то же время возможностями «i1Pro» в режиме «высокого разрешения» вполне достаточно для оценки качества получаемых спектров излучения в соответствии с требованиями ISO 3664:2009.

Управление излучающими компонентами источника

Спектр излучения в рабочей зоне ГЛИС образуется комбинацией спектров его компонентов:

$$s(\lambda) = a_1 \cdot s_{UV1}(\lambda) + a_2 \cdot s_{UV2}(\lambda) + a_3 \cdot s_{CW}(\lambda) + s_{DS}(\lambda). \quad (1)$$

где $s_i(\lambda)$ – спектры компонентов (рис. 1, а), измеренные в рабочей зоне ГЛИС при их непрерывном электропитании, a_i – коэффициенты, определяющие вклад i -го компонента в суммарный спектр ГЛИС и являющиеся значениями скважности ШИМ мощности СД, выраженными в долях. ГЛН «не включена» в автоматическое регулирование, и спектр $s_{DS}(\lambda)$ – «опорный», а СД используются для «доставки» излучения ГЛН в коротковолновой части видимой области спектра до желаемого результата.

С учётом дискретности получаемых спектральных данных по длине волны (109 спектральных зон) в дальнейшем удобно пользоваться векторно-матричной формой представления данных:

$$s = S_{LED}a + s_{DS}, \quad (2)$$

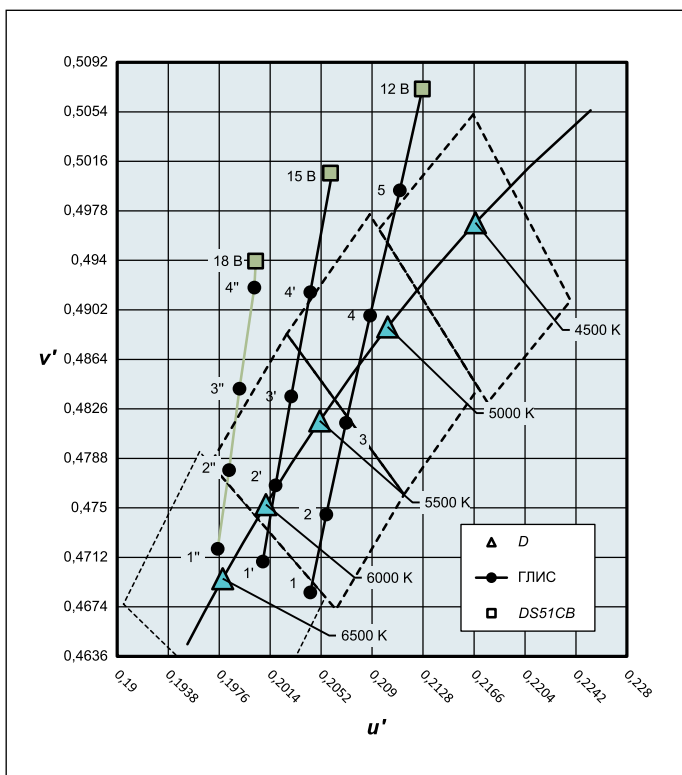


Рис. 2. Цветность ГЛИС в зависимости от T_u целевого излучателя «D» и напряжения питания ГЛН «DS51CB». Точки: 1, 1' – 6500 К; 2, 2', 2'' – 6000 К; 3, 3', 3'' – 5500 К; 4, 4', 4'' – 5000 К; 5 – 4500 К. Шаг сетки 0,0038 соответствует порогу восприятия цветовых различий

где S_{LED} – матрица (109×3) столбцы которой являются спектрами светодиодов, $a = [a_1, a_2, a_3]^T$ – вектор скажностей, s_{DS} – вектор (109×1) спектра ГЛН «DS51CB».

Целевой спектр излучателя «D» с заданной T_u может быть рассчитан в соответствии с рекомендациями МКО как

$$s_D = s_0 + M_1(T_u)s_1 + M_2(T_u)s_2, \quad (3)$$

где s_0, s_1, s_2 – векторы (109×1) компонентов излучателя «D», $M_1(T_u), M_2(T_u)$ – коэффициенты, рекомендуемые МКО. Для оценки совпадения форм спектров s и s_D удобен коэффициент качества аппроксимации GFC (Goodness Fitting Coefficient) [9], который следует минимизировать:

$$GFC = 1 - \frac{(s_D, s)}{\|s_D\| \cdot \|s\|} = 1 - \frac{s_D^T s}{\sqrt{s_D^T s_D} \sqrt{s^T s}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где s_D – целевой спектр (3) излучателя «D» с заданной T_u , s – спектр (2) ГЛИС. Выражение (4) представляет собой отличие от единицы косинуса угла между векторами s_D и s в 109-мерном векторном пространстве спектров. Нулевой GFC означает коллинеарность векторов, и, следовательно, полное совпадение форм спектров (с точностью до константы).

Таким образом, задача получения наилучшего спектра ГЛИС с заданной T_u в (3) заключается в получении $a = [a_1, a_2, a_3]^T$ в (2), доставляющего минимум GFC (4) при условии $0 \leq a_i \leq 1$ и последующего контроля цветности.

Рассмотрим множество векторов $\{s^*\}$, которые образуют подпространство L с базисом $s_{V1}, s_{V2}, s_{CW}, s_{DS}$:

$$s^* = b_1^* s_{V1} + b_2^* s_{V2} + b_3^* s_{CW} + b_4^* s_{DS} = S b^*, \quad (5)$$

где S – матрица (109×4) со столбцами $s_{V1}, s_{V2}, s_{CW}, s_{DS}$ а

$b^* = [b_1^* \ b_2^* \ b_3^* \ b_4^*]^T$. Нетрудно показать, что наименьший

угол с целевым вектором s_D образуют векторы из L , лежащие на прямой, которая содержит ортогональную проекцию вектора s_D на подпространство L . Координаты b такой проекции в L могут легко находиться стандартным методом наименьших квадратов:

$$b = (S^T S)^{-1} \cdot S^T s_D = S^+ s_D, \quad (6)$$

с применением, как видим, операции псевдообращения Мура – Пенроуза. Векторы, минимизирующие GFC (4), образуют прямую:

$$s_{\min GFC} = k S b, \quad (7)$$

где k – произвольная константа.

Теперь получим решение исходной задачи (2)–(4). По условию оно должно являться элементом линейного многообразия (2), представляющего собой гиперплоскость, лежащую в L , как и прямая (7). Во всех практически интересных случаях гиперплоскость (2) не параллельна прямой (7), и, следовательно, они имеют одну общую точку. Таким образом, решение задачи (2)–(4) существует, единственно и может быть получено как

$$a_1 = b_1/b_4, \quad a_2 = b_2/b_4, \quad a_3 = b_3/b_4. \quad (8)$$

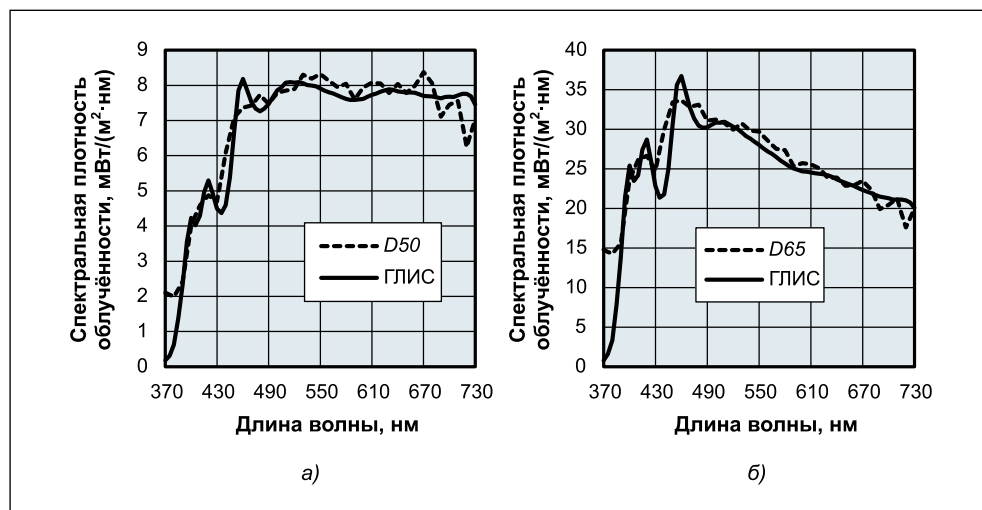
Несложно также показать устойчивость предложенного решения, однако это выходит за рамки настоящей статьи.

Решение системы уравнений (6)–(8) даёт возможность расчётной оценки характеристик ГЛИС по спектру, цветности и освещённости в рабочей зоне. На рис. 2 приведён цветовой график МКО 1964 с траекториями изменения цветности при разных напряжениях питания ГЛН, соответствующими наилучшему спектральному приближению целевого излучателя «D» в зависимости от T_u .

Из рис. 2 следует, что предложенная процедура поиска наилучшего спектрального приближения в совокупности с правильным выбором напряжения питания ГЛН «DS51CB» позволяет получать очень близкие по цветности приближения к излучателям «D» с T_u от 5000 до 6500 К. Чаше других в колориметрических приложениях встречаются излучатели «D65» и «D50». Наиболее удачный вариант имитации «D50» с помощью ГЛИС возможен при питающем напряжении ГЛН «DS51CB» 12 В (точка 4 на рис. 2), а «D65» – при 18 В (точка 1'' на рис. 2). Расчётные спектры ГЛИС для этих случаев приведены на рис. 3.

Таким образом, удачный подбор излучающих компонентов ГЛИС позволяет использовать для управления ими простейшие алгоритмы.

Рис. 3. Спектры ГЛИС:
 а – имитация «D50» (точка 4 на рис. 2), $GFC = 0,0032$, $\Delta E_{uv} = 0,0013$, освещённость в рабочей зоне ≈ 570 лк;
 б – имитация «D65» (точка 1" на рис. 2), $GFC = 0,0078$, $\Delta E_{uv} = 0,0022$, освещённость в рабочей зоне ≈ 2000 лк



Экспериментально полученные характеристики источника света

Излучатели в ГЛИС существенно различны по светораспределению, и следовало оценить эффективность смешения излучений с помощью диффузного отражателя (на примере имитации излучателя «D50») и равномерность освещения в рабочей зоне ГЛИС. В девяти точках этой зоны, размером около 18×18 см, производилось измерение спектральной плотности облучённости. Отклонения освещённости от её среднего значения составили около 20%. Спектральное распределение облучённости варьировалось от точки к точке, но в целом хорошо соответствовало предварительной оценке (рис. 3, а), причём в точках рабочей зоны хроматический сдвиг ΔE_{uv} (10° МКО 1964), равный $\leq 0,005$, соответствует рекомендации ISO 3664:2009.

Другие показатели качества имитации «D50» в соответствии со стандартом ISO 3664:2009 также подтверждают приемлемость результата. При этом $R_a = 98,3$ (по стандарту – не менее 90), а что касается частных индексов, то $R_1 = 98,9$, $R_2 = 98,7$, $R_3 = 99,2$, $R_4 = 96,9$, $R_5 = 98,0$; $R_6 = 98,9$; $R_7 = 97,5$; $R_8 = 98,0$ (по стандарту – не менее 80). Индекс метамеризма в видимой области $M_{vis} = 0,14$ (по стандарту – не более 0,25), а – в фиолетовой области $M_v = 0,09$ (по стандарту – не более 0,15).

Достигнутые уровни светового потока ГЛИС позволяют использовать его в экспериментальных работах по управлению цветом в полиграфии [10]. Излучатель «D50» – базовый для колориметрических расчётов в компьютерных системах цветорегулирования на основе методологии International Color Consortium (ICC), и освещённые ГЛИС отпечатки использовались для прямого сравнения с другим экспериментальным материалом. Разработанный ГЛИС был, кроме того, успешно использован для мультиспектральной фотосъёмки предметов небольшого размера [11].

Заключение

Создан ГЛИС, близкий по спектру к стандартным излучателям серии «D». Апробирован алгоритм управления на основе аналитического решения задачи ми-

нимизации GFC при фиксированном опорном спектре одного из компонентов ГЛИС. Достигнута определённая гибкость в выборе T_c но существенная зависимость уровня освещённости в рабочей зоне ГЛИС от T_c может в некоторых случаях рассматриваться как недостаток.

При использовании ГЛИС следует учитывать, что регулирование светового потока СД-компонентов осуществлялось посредством ШИМ (500 Гц). Кроме того, все полученные результаты основаны на измерениях спектрофотометром с невысоким спектральным разрешением (10 нм), предназначенным для типовых задач, связанных с цветовым восприятием человеком. Качественно проблем, выходящих за рамки типичной колориметрии, такие характеристики могут оказываться неудовлетворительными.

Если говорить о визуальной оценке оттисков в полиграфии, то полученные характеристики во многом избыточны. Тем не менее спектральная близость к излучателю «D» может требоваться в ряде специфических приложений. Это – колориметрические исследования, подбор рецептур смесевых красок, оценка термосублимационных оттисков на тканях, широко применяемых в наружной рекламе, и другие задачи, связанные с визуальным восприятием продукции, предназначенной для просмотра при естественном освещении.

Другой интересной сферой приложения подобных гибридных источников могут быть различные биологические исследования. (Несмотря на то что вопрос спектральной эффективности фотосинтеза частично изучен и предложены соответствующие варианты оптимизации спектров светодиодных источников [12], разумно предположить, что в биологических системах могут также происходить и другие важные фотохимические процессы, адаптированные именно к естественному освещению.)

Анализ энергоэффективности разработанного ГЛИС не входил в задачи работы, однако она невысока.

Очевидные направления совершенствования ГЛИС – улучшение системы смешения излучений и добавление дополнительного элемента – белого СД с T_c 2500–3000 К, который может позволить снизить нагрузку на ГЛН [8], и, возможно, отказаться от перекального режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hunt R.W.G.* Letter to the editor. Standard sources to represent daylight // *Color Res. Appl.* – 1992. – Vol. 17. – № 4. – P. 293–294.
2. *Даулинг К., Дэвис У., Зонг Ю., Миллер К.К., Оно Й.* Излучательная установка НИСТ с регулируемым спектром для исследований в области цветопередачи // *Светотехника.* – 2009. – № 5. – С. 37–40.
3. *Сергеев И.К.* Перспективные разработки ОАО «ПО УОМЗ» в области световых приборов со светодиодами // *Светотехника.* – 2011. – № 3. – С. 23–29.
4. *Бадгутдинов М.Л., Гальчина Н.А., Коган Л.М., Рассохин И.Т., Социн Н.П., Юнович А.Э.* Светодиодный модуль с регулируемой цветовой температурой // *Светотехника.* – 2008. – № 6. – С. 15–17.
5. *Гальчина Н.А., Гутцайт Э.М., Дворников Е.А., Коган Л.М., Рассохин И.Т., Социн Н.П., Туркин А.Н., Юнович А.Э.* Светодиодное устройство с улучшенной цветопередачей // *Светотехника.* – 2013. – № 1. – С. 32–34.
6. *Аладов А.В., Закгейм А.Л., Мизеров М.Н., Черняков А.Е.* Полихромные спектрально-перестраиваемые излучательные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения // *Светотехника.* 2013. – № 5–6. – С. 34–39.
7. *Гутцайт Э.М., Закгейм А.Л., Коган Л.М., Маслов В.Э., Социн Н.П.* К моделированию стандартных источников света светодиодами модулями // *Светотехника.* – 2013. – № 4. – С. 61–66.
8. *Арапов С.Ю., Арапова С.П., Тарасов Д.А.* Оценка применимости лампы *Decostar 51 Cool Blue 50W 360 (Osram)* в качестве специализированного источника излучения в полиграфии // *Светотехника.* – 2015. – № 4. – С. 67–68.
9. *Imai F., Rosen M., Berns R.S.* Comparative Study of Metrics for Spectral Match Quality / *The First European Conference on Colour Graphics Imaging and Vision.*, NY, USA, 2009. – С. 785–792.
10. *Арапова С.П., Арапов С.Ю., Солодова М.С.* Автоматизированный лабораторный источник света для исследований цветопередачи при колориметрическом освещении / *Материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19–20 марта 2015 г.) «Передача, обработка, восприятие текстовой и графической информации».* – Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. – 2015. – С. 34–46.
11. *Арапова С.П., Арапов С.Ю., Тягунов А.Г.* Экспериментальный комплекс мультиспектральной фотосъемки на основе стан-

дартной цифровой камеры // *Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела.* – 2014. – № 5. – С. 45–54.

12. *Валяев Д.Б., Малышев В.В.* Техничко-экономическое обоснование применения светодиодных светильников в теплицах // *Инновации в сельском хозяйстве.* – 2013. – № 3 (1). – С. 55–57.



Арапов Сергей Юрьевич, инженер-физик. Окончил в 1988 г. физико-технический факультет Уральского политехнического института. Старший преподаватель кафедры «Полиграфия и веб-дизайн» Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Область научных интересов: допечатная подготовка, системы управления цветом, колориметрия, мультиспектральная фотография



Арапова Светлана Павловна, инженер-физик. Окончила в 1989 г. физико-технический факультет Уральского политехнического института. Старший преподаватель кафедры «Полиграфия и веб-дизайн» Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Область научных интересов: допечатная подготовка, типографика, колориметрия, особенности восприятия цвета в полиграфии, психофизика



Тягунов Андрей Геннадьевич, кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1993 г. металлургический факультет УГТУ-УПИ. Организатор (2003 г.) и зав. кафедрой «Полиграфия и веб-дизайн» Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Преподаёт ряд специальных дисциплин. Область научных интересов: печатные процессы, материаловедение

Подписывайтесь на журнал

**На 2-е полугодие
2016 года**

Индекс журнала 70808
в каталоге «Пресса России»,
отдел «АРЗИ».
Редакция также оформляет
подписку на журнал

**СВЕТО
ТЕХНИКА**

Адрес: 129626, г. Москва,
проспект Мира, 106,
ВНИСИ, оф. 327, 334
Тел/факс: 8(495) 682-58-46
E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Сравнение светодиодных и «традиционных» источников света по применимости к музейному освещению¹

А. БХАТТАЧАРДЖИ, С. МАЗУМДАР

Кафедра светотехники электротехнического факультета Джадавпурского университета, Колката, Индия
E-mail: bhattacharjee.amrita1@gmail.com

Аннотация

Главное в музее – демонстрация экспонатов. Эффективное освещение последних предполагает создание нормируемых уровней освещённости, снижение ИК и УФ составляющих излучения и минимизацию текущих расходов на электроэнергию. Эти требования вполне выполнимы с помощью сравнительно маломощных светодиодных (СД) ламп. СД-лампы имеют большие полезный срок службы и световую отдачу. СД могут излучать свет разного цвета, их излучение имеет малые ИК и УФ составляющие и они могут иметь высокие индексы цветопередачи R_a , что важно для освещения музейных экспонатов. Проектирование музейного освещения требует тщательного и гибкого подхода, позволяющего создавать оптимальные условия для демонстрации экспонатов. Основанный на применении СД энергосберегающий подход к проектированию освещения наследия прошлого поможет обеспечить «зелёное» будущее.

Ключевые слова: спектральная плотность распределение энергии излучения, удельная мощность, освещённость, УФ, светочувствительный.

Введение

Основные обязанности музеев – изучение и сохранение своих коллекций и их эффективная демонстрация. Поэтому освещение считается второй по значимости заботой проектировщиков. Без эффективного освещения теряют свою привлекательность даже самые интересные коллекции и экспонаты. Однако освещение может ускорять деградацию целого ряда музейных экспонатов, и в данном исследовании стави-

лась задача выяснения пригодности разных источников света для освещения музеев. Проведённые эксперименты и расчёты показали, что СД источники света (ИС) наилучшим образом подходят для освещения музейных экспонатов.

Видимость и уровень освещения

Уровень музейного освещения должен тщательно регулироваться, с тем чтобы не допустить повреждения произведений искусства оптическим излучением. Как известно [1], максимально допустимая освещённость на высокочувствительных ма-

Рис. 1. Зависимость температуры в камере при использовании разных источников света от температуры наружного воздуха (измерения проводились с ноября 2013 г. по январь 2014 г. Показаны только максимальные и минимальные значения температуры)

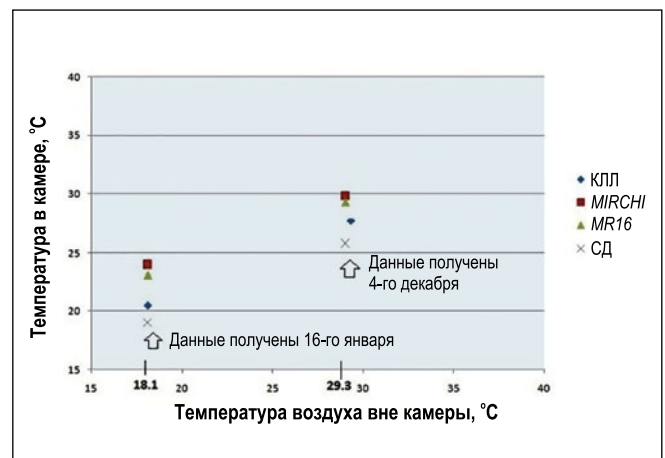
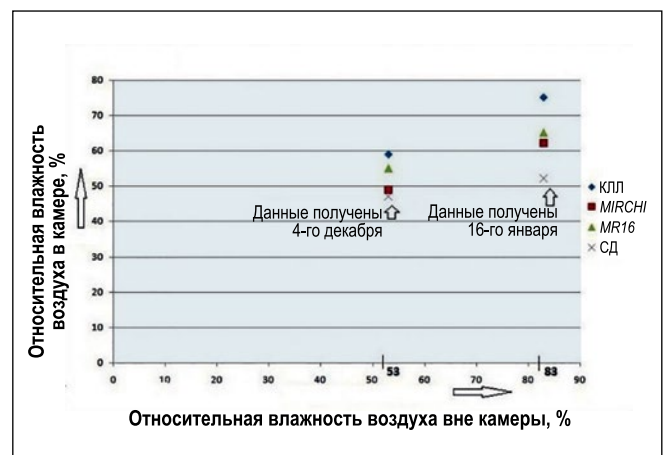


Рис. 2. Зависимость влажности в камере при использовании разных источников света от влажности наружного воздуха



териалах – 50 лк. На основе результатов экспериментов, проведённых на японских картинах (мозаичные цветные образцы красных, жёлтых, зелёных и синих натуральных минеральных красок и сусального золота), было установлено, что их субъективное восприятие при освещённости 10 лк от RGB-СД ИС почти такое же, как при освещённости 700 лк от белых люминесцентных ламп и ВУ-СД ИС [2]. Это обусловлено различиями этих ИС по спектру излучения.

Так что цветовой облик объекта при освещении СД ИС оказывается не таким, как при освещении «традиционными» ИС. Результаты экспериментов говорят о том, что и при слабом освещении использование RGB-СД ИС предпочтительнее, чем других ИС.

Вредное воздействие источников света на произведения искусства

Освещённость поддерживается низкой для предотвращения выцветания красок. С другой стороны, в соответствии с эффектом Ханта [3], по мере уменьшения освещённости

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Уровни излучения разных источников света в спектральных зонах УФ-А, УФ-В и УФ-С

Лампа	УФ-А, мкВт/см ²	УФ-В, мкВт/см ²	УФ-С, мкВт/см ²
КЛЛ	9	0,3	0,8
ГЛН <i>Mirchi</i>	1,9	0,1	7,5
ГЛН <i>MR16</i>	1,7	0,1	7
СД лампа	8,5	0	0,7



Рис. 3. Картины-свитки в Бенгальской галерее

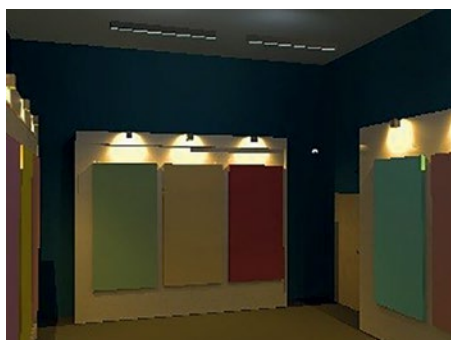


Рис. 4. Смоделированное посредством «DIALux» изображение существующей осветительной установки в Бенгальской галерее

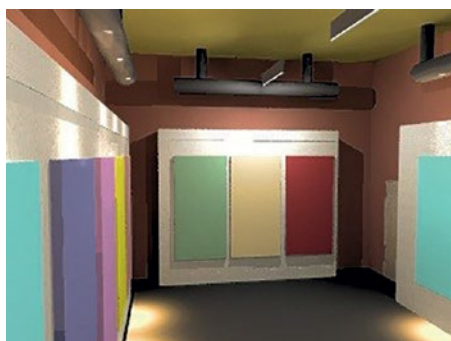


Рис. 5. Смоделированное посредством «DIALux» изображение предлагаемой осветительной установки для Бенгальской галереи

уменьшаются яркость и многокрасочность цветных объектов. В Джадавпурском университете проводятся самые разные лабораторные исследования вредного воздействия ИС на картины. В лабораторных условиях был проведён эксперимент в закрытом боксе, в рамках которого картины освещались лампами четырёх типов. Этот эксперимент дал представление о вредном воздействии разных ИС на картины². В течение всего ис-

² Для очень чувствительных музейных экспонатов предельной является экспозиция 150000 лк·ч в год [1]

следования все экспериментальные данные регистрировались. Так как картины очень чувствительны к нагреву и влажности, из всех экспериментальных данных нас интересовали лишь значения температуры и влажности. Некоторые данные о температуре и относительной влажности, полученные в зимний период с ноября 2013 г. по январь 2014 г., приведены на рис. 1 и 2 [7].

Из рис. 1 и 2 следует, что повышенные температуры и изменение относительной влажности в камере с СД ИС были меньшими, чем в камерах с другими ИС. Поэтому можно ожидать, что степень повреждения картин освещением СД ИС окажется меньше, чем освещением другими ИС.

На основе упомянутых выше экспериментальных данных сделан вывод, что растрескивание красок, то есть повреждение их продолжительным нагревом, и выцветание красок, то есть фотохимическая деградация их поверхности, зависящая от влажности воздуха, в случае СД ИС оказываются меньшими, чем при освещении другими ИС. Так что при музейном освещении СД ИС рекомендуемые сейчас освещённости можно поднять, что, согласно эффекту Ханта, приведёт к повышению яркости и многоцветности картин.

(50–75 лк в течение дня при работе музея 8 ч в день, 6 дней в неделю, 300 дней в году). Так что предельные экспозиции – 500 лк·ч в день, 3000 лк·ч в неделю и 150000 лк·ч в год. Однако для проведения экспериментов, особенно на акварелях, были выбраны циклы с экспозицией 30000 лк·ч. В соответствии с законом взаимозаместимости Бунзена-Роско и особенностями фотохимических реакций [4, 5], производимые светом повреждения прямо пропорциональны произведению интенсивности освещения на время экспонирования (см. также [6]).

Воздействие на картины УФ излучения

УФ излучение очень вредно для художественных экспонатов, так как оно глубоко проникает в экспонаты. Оно оказывает деградирующее действие на многие полимеры, ткани, бумагу и картины [8]. В зависимости от длины волны и энергии фотонов различают несколько диапазонов УФ излучения: УФ-А, УФ-В и УФ-С. Излучение в диапазоне УФ-С имеет наименьшие длины волн и наибольшие энергии фотонов, и потому вреднее для произведений искусства, чем излучение в диапазонах УФ-А и УФ-В. Соответственно, были измерены уровни излучения ИС, использовавшихся в лабораторных исследованиях, в диапазонах УФ-А, УФ-В и УФ-С, в виде уровней облучённости, в мкВт/м², (табл. 1) [6].

Из табл. 1 видно, что у экспериментальной СД лампы УФ-В излучение отсутствует, а УФ-С излучение меньше, чем у остальных исследовавшихся ИС. Так что СД ИС менее вредоносны, чем остальные ИС, и подходят для музейного освещения, особенно для освещения светочувствительных объектов (то есть картин, тканей).

Энергоэффективность разных источников света

Нами проведено исследование существующих осветительных установок (ОУ) музеев Западной Бенгалии, Индия, и их энергоэффективности [6]. Анализ его результатов показал, что в большинстве случаев эти ОУ энергонезаэффективны. Так, было установлено, что Бенгальская галерея музея *Howrah Zilla* (Ховрах, Западная Бенгалия), которая хранит картины-свитки, освещается «традиционными» ИС технически неграмотно. Су-

шествующая ОУ Бенгальской галереи показана на рис. 3. Освещённость на картинах измерялась люксметром «METRAVI 1332».

Результаты измерений (табл. 2) говорят о том, что средняя освещённость на картинах – 230–300 лк, а, по стандарту *IS3646* [9], должна быть ≤ 50 лк.

Была также рассчитана мощность, идущая на освещение этой галереи (табл. 3).

В результате установлено, что галерея площадью всего 50,4 м² потребляет 1508 Вт мощности, то есть удельная установленная мощность (УУМ) – 29,92 Вт/м². При этом, по рекомендациям *ЕСВС2011* [10], УУМ в музейном освещении должна составлять $\leq 11,8$ Вт/м². Так что можно утверждать – уровни освещения и энергопотребления в Бенгальской галерее не соответствуют нормативным требованиям.

На рис. 4 приведены результаты моделирования с помощью программы «*DIALux*» существующей ОУ в Бенгальской галерее музея *Howrah Zilla*, демонстрирующие избыточную освещённость на картинах.

Поэтому с помощью этой программы была спроектирована новая ОУ, с трубчатыми СД лампами и светильниками с СД направленного света [11]. Результаты расчётов приведены в табл. 4 и 5. УУМ с предлагаемой ОУ понизится до 1,64 Вт/м², что удовлетворяет требованиям *ЕСВС2011* [10]. Из табл. 4 также следует, что средняя освещённость на картинах составит в этом случае 40 лк, что удовлетворяет требованиям стандарта [9]. В целом, очевидно, что модернизация ОУ с заменой используемых сейчас ИС на СД ИС поможет снизить энергопотребление. При этом может обеспечиваться освещение, удовлетворяющее нормативным требованиям.

На рис. 5 приведено смоделированное с помощью «*DIALux*» изображение предлагаемой ОУ для Бенгальской галереи музея *Howrah Zilla*. Видно, что уровни освещения на картинах соответствуют нормативным требованиям, а пространство в целом выглядит более светлым.

Заключение

Удачный проект музейного освещения должен соответствовать требо-

Средние измеренные значения освещённости

Название картины	Освещённость (измеренная в витрине без защитного стекла), лк
Спор между Гангой и Дургой	290
Кришна Леела	226

Таблица 3

Мощность, идущая на освещение Бенгальской галереи

Тип лампы	Кол-во ламп, шт.	Мощность, Вт	Общая мощность, Вт
ГЛН <i>MR16</i>	26	26 × 50	1300
ЛЛ <i>T 12</i> холодно-белого света	4	4 × (40 + 12)	208
Всего			1508

Таблица 4

Результаты проведённых при помощи «*DIALux*» расчётов характеристик осветительной установки, предлагаемой для Бенгальской галереи

$E_{ср}$, лк	$E_{мин}$, лк	$E_{макс}$, лк	U_o	$E_{мин}/E_{макс}$
40	35	52	0,88	0,67

Таблица 5

Расчёт мощности для предлагаемого проекта освещения картин-свитков в Бенгальской галерее

Тип лампы	Кол-во ламп, шт.	Мощность, Вт	Общая мощность, Вт
СД трубчатая, 19 Вт	3	3 × 19	57
Светильник с СД направленного света с узким пучком, 1 Вт	26	1 × 26	26
Всего			83

ваниям к энергосбережению и к внешнему виду и сохранности картин. Благодаря своим уникальным характеристикам СД ИС прекрасно подходят для музейного освещения [12]. По наличию УФ составляющей излучения, нагреву экспонатов, изменению влажности и прочих связанных с ИС вредных воздействий на светочувствительные материалы СД ИС имеют преимущества перед «тради-

ционными» ИС. Кроме того, СД ИС потребляют мало энергии, способны усиливать эстетическое восприятие произведений искусства и улучшать для этого восприятия условия окружающей среды, что, в свою очередь, соответствует эффекту Ханта. Таким образом, использование СД ИС в проектируемых традиционными методами ОУ предпочтительнее использования «традиционных» ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Illuminating Engineering Society of North America, *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*, Ninth Edition.
2. Nakajima, Y., Fuchida, T. A study on the evaluation method of colour rendering properties of museum lighting at low illuminance. CIE, 2014. P. 513–521.
3. Hunt, R.W.G. Light and dark adaptation and the perception of colour // J. Opt. Soc. Am. – 1952 – Vol. 42. – P. 190–199.
4. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022191012002958>.
5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23220191>.
6. Bhattacharjee, A. Thesis on ‘Studies and Design of Energy-efficient Museum Lighting’, Jadavpur University, 2013.
7. Sarkar, R. Thesis on ‘Studies and experiments for determination of degradation of paintings of museum art galleries caused by artificial light sources’, Jadavpur University, 2014.
8. Hare, C. The Degradation of Coating by Ultraviolet Radiation // Journal of Protective Coating and Paint.
9. Indian Standard: IS3646(Part I): 1992.
10. Energy Conservation Building Code – 2011.
11. Philips Lighting Handbook.
12. Zhai, Q.Y., Luo, M.R., Liu, X.Y. The impact of the luminance levels and colour temperature on viewing fine art under LED lighting, CIE, 2014. P. 72–81.



Амрита Бхаттачарджи (Amrita Bhattacharjee),
M.E. по светотехнике (2013 г.). Окончила в 2011 г. Технический университет Западной Бенгалии.

Доцент Бирбхамского инженерно-технологического института, Бирбхам, Индия. Специалист по музейному освещению



Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar), Ph.D.
Профессор кафедры светотехники электротехнического факультета Джадавпурского университета, Колката, Индия.

Имеет 27-летний опыт исследований и преподавания в области светотехники

Поздравляем с юбилеем!

Раисе Иосифовне Столяревскую



8 марта 2016 г. доктор технических наук, член редакционной коллегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering» Раиса Иосифовна Столяревская отметила свой юбилей.

Раиса Иосифовна окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета и несколько лет занималась физикой полимеров (ВНИПинефть, Москва), чему были посвящены первые публикации и небольшая монография по экологической проблеме фоторазрушаемых в естественных условиях полимерных отходов.

С 1976 г., перейдя во ВНИИОФИ, Р.И. Столяревская, стала заниматься измерениями параметров приёмников и источников оптического излучения. Она принимала самое активное участие в проводимых во ВНИИОФИ работах по поиску истинного значения максимальной спектральной световой эффективности, разработке методов воспроизведения единиц силы света и светового потока на основе определения канделы 1969 г. При её непосредственном участии были введены в строй государственные первичные эталоны в области фотометрии.

Вслед за этим началась большая международная работа по сличению фотометрических величин, созданию шкалы спектральной чувствительности приёмников оптического излучения, методам и средствам измерений световых величин на прецизионном уровне и на уровне технических измерений, в том числе для решения задач сертификации продукции, а также по развитию мето-

дов детекторной фотометрии. В 1987 г. Р.И. Столяревская успешно защитила кандидатскую диссертацию, а в январе 2001 г. – докторскую.

Р.И. Столяревской опубликовано более 140 научных работ в отечественных и зарубежных журналах, и она – соавтор 9 монографий по измерениям параметров оптического излучения.

Раиса Иосифовна является представителем Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО.

Проработав во ВНИИОФИ с 1976 по 2002 гг., Р.И. Столяревская прошла путь от м.н.с. до руководителя сектора фотометрии. Награждена нагрудным знаком «Изобретатель СССР», медалью «В память 850-летия Москвы», нагрудным знаком «За заслуги в стандартизации», знаком отличия в труде «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

С 2002 г. жизнь и работа Р.И. Столяревской практически неразрывно связаны с жизнью редакции журнала «Светотехника» и ВНИСИ им. С.И. Вавилова, где, с 2008 г., она сотрудничает с международной группой по линии связей с МКО и с Испытательной лабораторией в области разработки нестандартных методик измерений световых, цветовых и фотобиологически опасных параметров световых приборов со светодиодами.

Редколлегия и редакция журнала, коллеги и друзья поздравляют Раису Иосифовну с юбилеем и желают ей крепкого здоровья, благополучия, успехов, удачи и сохранения на долгие годы энергии и творческой активности.

Актуальный светодизайн для классической архитектуры

Н. И. ЩЕПЕТКОВ¹

МАрХИ (ГА), Москва
E-mail: n_shchepetkov@inbox.ru

Аннотация

Современный светодизайн памятников классической архитектуры во многих городах России и мира вызывает вопросы — насколько соответствует образ, создаваемый искусственным светом ночью, зрительному образу, существующему днём? В статье рассматриваются принципиальные способы интерпретации архитектурного образа объектов классики (как и других стилей) средствами искусственного освещения.

Ключевые слова: классическая архитектура, светодизайн, световой образ, аутентичное освещение, архитектурная тектоника, урбанистический контекст.

На фоне активно множащихся и любимых телевидением грандиозных и ослепительных фейерверков и видео-мэппингов в городах России по случаям, действительно заслуживающим подобного эмоционального зрелища, а нередко и «притянутым за уши», когда одномоментно расходятся суммы, чувствительные для нашей экономики, разговор об освещении памятников классической архитектуры может показаться пресным. Им ведь и так уделяется внимание, большее, чем, например, архитектуре конструктивизма или модерна. Но они, и это принципиально важно, пользуются наибольшим авторитетом в европейской культуре, начиная с античности, на которую и ориентируются все последующие вариации классицизма. Поэтому поиск способов аутентичного (или иного, альтернативного) формирования и предъявления зрителю архитектурного образа этих памятников, не существо-

вавшего в момент их рождения, не замышлявшегося их авторами-зодчими, а создаваемого сегодня электрическим светом в ночное время совсем другими авторами — светодизайнерами — и в других условиях, имеет актуальное теоретическое, методологическое, социальное и практическое значение.

Уместно напомнить, что световой образ архитектурного объекта любого стиля, тектоники и масштаба при искусственном освещении может создаваться в соответствии с одним из двух противоположных принципов — ассоциативного подбора дневному образу или альтернативного «контробраза» (рис. 1)². Возможны также многочисленные компромиссы между ними [1]. Первый способ, господствовавший в советском (и не только) светодизайне до 1980-х гг. при прожекторном заливающим освещении фасадов и в определенной мере обеспечивавший образные ассоциации с их солнечным освещением, применяется в нашей практике по разным причинам всё реже. Вторым способом более или менее удачно, сознательно или стихийно, пользуется большинство светодизайнеров, особенно в световых шоу, поскольку в этом случае можно не «замораживать» себе голову знанием тектонических, стилевых и других базовых особенностей архитектуры объекта и творить свободно, раскованно, как в «чистом» искусстве, что весьма заманчиво, ибо собственный, автономный потенциал выразительных возможностей рукотворного свето-цвета необъятен. Архитектура просто служит здесь экраном, холстом, хотя и далеко не идеальным, на поверхности которого фантазийно творит светохудожник, получая в итоге образ, иногда весьма оригинальный, но не имеющий ничего

общего с дневным, традиционным, базовым архетипом.

В компромиссном варианте, как правило, воспроизводятся некоторые узнаваемые черты объекта, но в целом его световой образ, обычно очень дробный, пятнистый, «неспропорционированный» по яркости и её распределению в соответствии с иерархией элементов и композиционных особенностей архитектуры фасада, т.е. с её тектонической системой, редко поднимается до уровня искусства. Именно этот вариант, к сожалению, преобладает сегодня в нашей практике.

Но это лишь первый блок творческих вопросов. Второй связан с афоризмом великого архитектора XX в. Л. Мис ван дер Роэ «Бог — в деталях». Об этом, в частности, идёт речь в статье [2], на примерах архитектуры итальянского Ренессанса. Светодизайнеры М. Сельмо и Ф. де Росси, показавшие себя творческими профессионалами в ансамбле Пьяцца дей Синьори в Виченце, изначально сформулировали чёткую концептуальную позицию, которая позже была реализована. Её можно назвать романтической версией первого принципа — ассоциативное уподобление, но не солнечному, а лунному образу (который существовал в природе и при А. Палладио, однако при других условиях зрительной адаптации в ночном городе). По геометрии и динамике лунный свет аналогичен солнечному, но по интенсивности, спектру и контрастности освещения он другой. Отсутствие последнего качества — характерных для лунного света высоких светотеневых (яркостных) контрастов на пластически сложных фасадах Базилики в Виченце, ставших при реализованном освещении зрительно уплощёнными, «запудренными», позволяет усомниться в убедительности концептуальной версии «*Moonlit*». Тем не менее это показывает, что, почти как на театральной сцене, в локальном фрагменте городской среды освещением можно вызывать определённые эмоции. Эта концепция — возможный пример для подражания, хотя с её авторами можно спорить и предлагать другие решения. В этом — суть любого искусства. Жаль, что новаторская, провоцирующая практика творческих манифестов в искусстве столетней давности, фонта-

¹ Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда «Прошлое и будущее классической архитектуры» (проект № 14–18–01601) в МАрХИ (ГА).

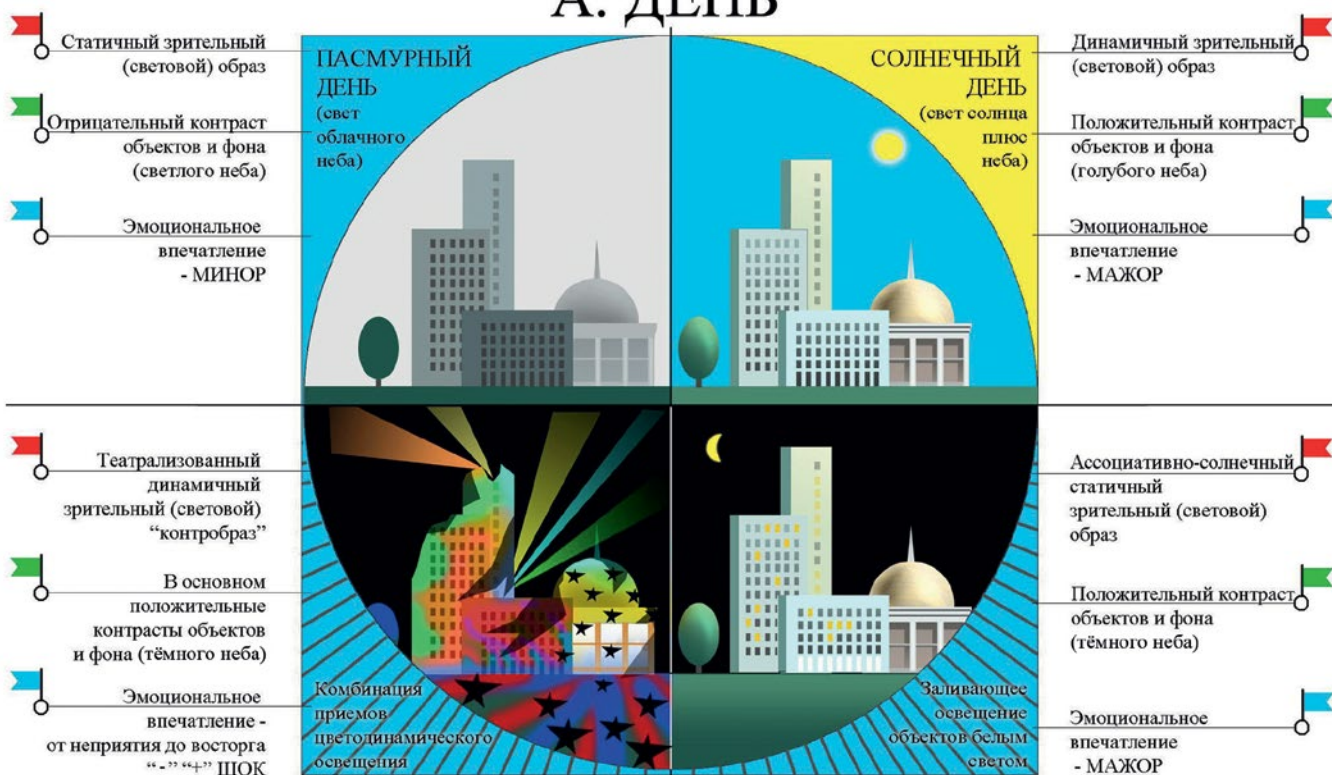
² Рис. 1; 3, а; 4, а; 4, б — снимки автора.

ДВЕ ИПОСТАСИ АРХИТЕКТУРНО-СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ГОРОДА

А- ДНЕВНАЯ, ЕСТЕСТВЕННАЯ, СВЕТОПОТРЕБЛЯЮЩАЯ

Б - НОЧНАЯ, РУКОТВОРНО-ИСКУССТВЕННАЯ, СВЕТОИЗЛУЧАЮЩАЯ

А. ДЕНЬ



Б. НОЧЬ

Рис. 1. Основные архетипы дневного архитектурно-светового образа объектов и их принципиально разная интерпретация при искусственном освещении (ассоциативный образ и альтернативный «контробраз»)

нировавших творческими идеями, почти канула в лету. Идей в современном светодизайне мало, по крайней мере озвученных (исключение составляет разве что мыслящий, пишущий и плодотворно проектирующий Р. Нарбони), поэтому реализации проектов освещения объектов классики весьма разношёрстны (рис. 2), и надо обзрывать их и обсуждать, чтобы определиться с перспективными тенденциями, предпочтениями и, если хотите, модой, поскольку это ответственная задача.

Начнём с урбанистического контекста, без которого сегодня невозможно решать ни архитектуру, ни светодизайн отдельного объекта. Когда в тёмном городе появляется освещённый объект, он рискует выглядеть белым на фоне окружения до момента, пока по соседству не появятся ещё один или несколько, что-

бы образовать что-то вроде светового ансамбля. Но для этого нужен соответствующий проект с определением иерархии освещаемых объектов, выраженной характеристиками света. В подобных случаях иерархию, по замыслу грамотного светодизайнера, определяют не габариты, а историко-культурная ценность объектов: небольшое сооружение, будучи памятником архитектуры, малозаметным днём в окружении зрительно более агрессивных большемерных современных зданий, может заслуженно стать локальной доминантой в ночном световом ансамбле благодаря предусмотренной в проекте повышенной яркости, особой цветности, контрастности или динамике его освещения. В нашей практике в Москве 1990-х таких примеров было немало. Двухэтажный классический домик купца

Лобкова, памятник архитектуры на Софийской набережной, освещённый в 1998 г. в соответствии с нормами, выглядел вызывающе, пока поблизости не появились другие освещённые фасады. Сегодня его можно узреть в светопанораме набережной лишь целенаправленно. Случаи, когда подобная световая доминанта виртуально погибает в неоправданно сияющем коммерческом окружении, нередки. И никакие детали типа «позитивного» или «негативного» освещения ордерного портика или аркады уже не спасут. Искусство светового ансамбля находится ещё в эмбриональном состоянии (впрочем, и в архитектуре дневных ансамблей ситуация не блестяща).

Качественным, аутентичным освещением классических объектов в разные периоды XX века отличались Ленинград, Париж, Вашингтон (рис. 3).



Рис. 2. Световая архитектура ордерной архитектуры: негативный (а – Биржа в Петербурге) и позитивный (б – ц. Св. Магдалены в Париже) контрасты колоннады и фоновой стены. Антаблемент периптера Биржи визуально разрушен лентой света на фризе и карнизе; освещение фасадов (в – Парфенон в Афинах, г – Дворец Виктора Эммануила в Риме). Яркостный контраст колоннады и стены не обеспечивает выразительный пространственно-тектонический эффект

В столице США и сегодня неоклассические здания – Белый дом, мемориалы Линкольна и Джефферсона, Капитолий – залиты солнечно белым светом весьма традиционно и вызывающе ярко. Это придаёт им уплощённый, бельмообразный вид, скрадывающий важные тектонические и пластические детали [3]. Вероятно, такие решения приняты из урбанистических соображений – объекты хорошо видны в ночных светопанорамах с больших расстояний. Дом Инвалидов в Париже активно и целостно «вызолочен» светом натриевых ламп,

что противоречит концепции парижских же специалистов (по крайней мере, в 1990-е гг.) освещать памятники архитектуры без искажения «предметного» цвета их фасадов. Для этой цели, по их мнению, лучше всего подходили лампы накаливания. Светопанорама Университетской набережной в Петербурге с классической застройкой и 50 лет назад, и сегодня напоминает картонную декорацию из-за высокого положительного контраста с ночным окружением, но зато смотрится целостной лентой – как днём при глобальном, объединяющем сол-

нечном свете (но с меньшими контрастами). Разрабатываются проекты подобного единого решения светопанорамы Дворцовой набережной, пока ещё визуально «рваной», неубедительно пунктирной из-за несогласованного освещения фасадов разных зданий и элементов ландшафта, из-за дематериализующих зрительных качеств яркого света («пересвеченное» до недавних пор по сравнению с «соседями» здание Сената и Синода).

При выборе приёмов, средств и характеристик освещения объектов классики, если ориентировать-

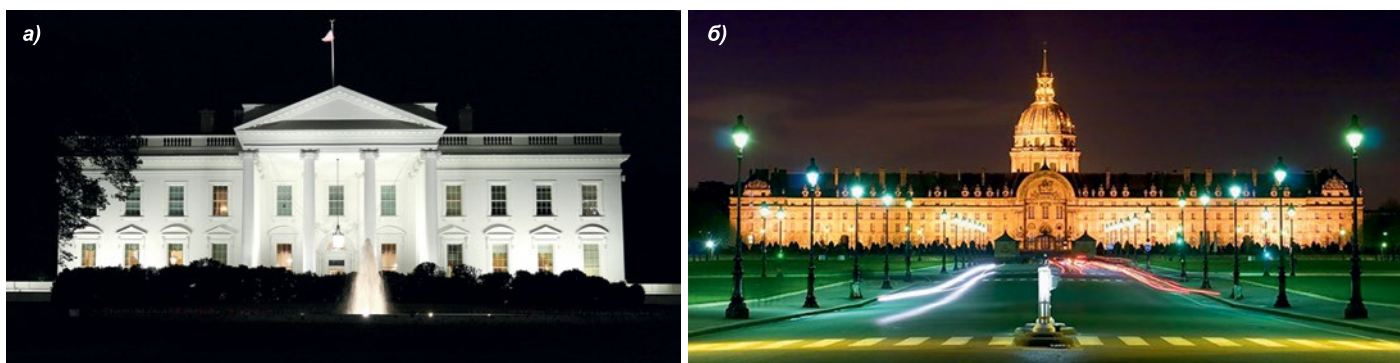


Рис. 3. Заливающее архитектурное освещение белым (а – Белый дом в Вашингтоне) и цветным (б – Дом Инвалидов в Париже) светом

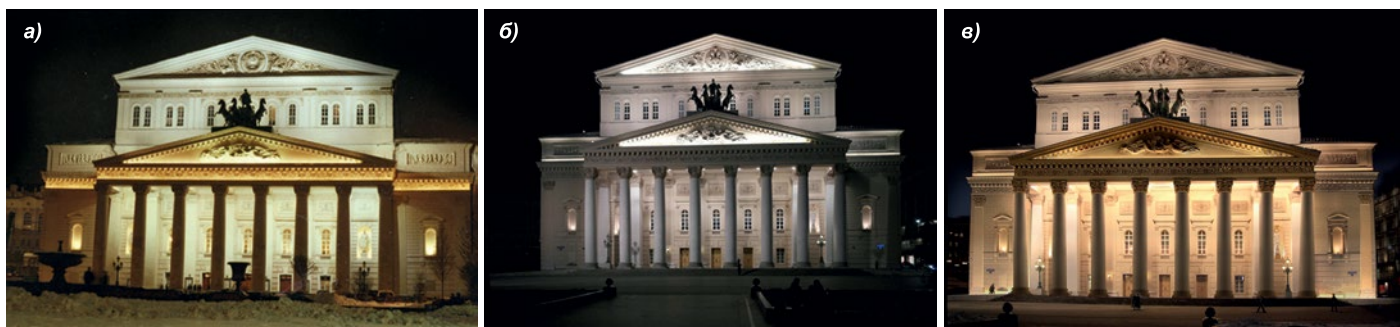


Рис. 4. Варианты архитектурного освещения главного фасада Большого театра в Москве: а – предшествовавший, б – существующий, в – компьютерный (А. Г. Батова)

ся на одну из базовых категорий архитектуры – её тектонику, нередко приходится выбирать приоритет одной из тектонических систем в зданиях, где их представлено несколько. Например, главный фасад Большого театра в Москве сочетает две системы – ордер и стену. Сегодня этот приоритет отдан второплановой стене сценической коробки с ярким венчающим фронтоном: её средняя яркость, имеющая первостепенное значение в любой световой композиции, выше, чем у первопланового ордерного портика (рис. 4). Объективно же иерархия архитектурных систем в этом здании обратная – мощный восьмиколонный портик днём при любой погоде играет более важную композиционно-образную роль, нежели фоновая стена по его бокам и над ним. Причём ордер портика здесь конструктивно правдивый, в отличие от декоративных пилястр на стене, хотя в иных случаях и ложный ордер светом (как и цветом, фактурой, пластикой при дневном освещении) может быть иллюзорно представлен как настоящий, будь на то воля светодизайнера. Недостаточный яркостной контраст первоплановых колонн и фоновой стены театра также снижает ныне зрительную активность портика, а чрезмерно освещённый фронтон нарушает целостность первого плана. Хорошо, что в отличие от предшествовавшего «светополосатого» варианта, антаблемент оставлен монолитным. Ситуацию с нелогичностью яркостной композиции легко было бы избежать, если бы авторы освещения при расчёте, проектировании и последующей юстировке приборов чётко представляли себе художественную задачу. А. Г. Батова в своей диссертации смоделировала в «фотошопе» более убедитель-

ный, тектонически иерархизированный световой образ главного фасада Большого театра [4], в котором ордер визуально доминирует над стеной. Справедливости ради надо сказать, что в целом это всё же одно из наиболее удачно освещённых классических зданий в Москве и хороший пример для анализа световой композиции.

Говоря о вариациях интенсивности освещения, зрительно оцениваемых по уровням яркости и яркостных контрастов, по распределению яркости на архитектурных формах (равномерное, пятнистое, градиентное) и характеру светотеней при белом электрическом свете, мы пока не касались других качественных характеристик – кинетики и цветности освещения. Они пока за пределами дискуссии и сильно бы её усложнили, хотя и в итальянском, и в международном опыте режим функционирования систем архитектурного освещения самый разнообразный и определяется муниципальными властями или владельцами, а цветность освещения – пожалуй, наиболее молодое, неизведанное, рискованное, непредсказуемое, но и очень эффективное средство, «дружбу» которого с классикой установить весьма проблематично, хотя примеры стационарного цветного освещения памятников архитектуры есть. Самый близкий и скандальный пример в московской практике – цветное освещение светодiodами фасадов зданий, среди которых немало неоклассицистических советского периода со стеновой и ордерной тектоникой, на Тверской улице в 2012 г. Оно потерпело полное фиаско [5] и было дезавуировано. Активный полихромный свет, да ещё не сгармонизированный по своим характеристикам, особенно

в сочетании с динамикой – слишком сильное эмоциональное средство, чтобы быть комфортным в стационарной жизненной среде. Поэтому он весьма впечатляет в праздничных световых шоу, но это уже другая история. (Гроза с молниями отлична от вида солнечного, а тем более пасмурного дня, но трудно представить нормальную жизнь в режиме постоянной грозы.) В перспективе даже интерактивная светоцветовая среда, примеры которой множатся благодаря светодиодам и системам компьютерного управления и в которую, наверное, будут включаться и памятники классики, предполагает гуманное, а не наркотическое воздействие на перцептивные системы человека. Это – огромный, неизведанный и актуальный пласт для научных исследований. А их, увы, катастрофически не хватает.

Тенденции в современном светодизайне Запада, по словам Р. Нарбони (из его выступления на мероприятиях «АРХМосква» в мае 2015 г.), эволюционируют в сторону сокращения количества света в городских пространствах при требуемой эстетизации светодизайнерских решений. Борьба с экологическим «световым загрязнением» ночного неба развернулась там нешуточная. В Евросоюзе пересматриваются нормы наружного освещения в сторону сокращения интенсивности и других параметров. Власти ряда городов (Прага и др.) уже давно приняли ограничительные меры. Эстетику света пытаются «поженить» с эстетикой тьмы. Это и обеспечит наличие необходимых для искусства светодизайна контрастов (хотя тьма и сегодня представлена в городской среде в изобилии). Надо когда-то найти чувство меры без ущерба для полноценного функционирования

жизненных процессов в городской среде. Опять это вопрос к науке.

Произведения архитектурной классики более или менее благополучно пережили смены многих парадигм в традиционной истории, теории и практике архитектуры при дневном свете. Теперь настала очередь теории и практики светодизайна, в которой роль первой скрипки в интерпретации их образной сущности принадлежит рукотворному электрическому свету с его почти неограниченными возможностями в этой области. Можно лишь надеяться, что светодизайнеры, с каким бы базовым образованием ни будь, будут понимать душу архитектуры и относиться к ней с пиететом, а муки рождающегося светодизайна «омолодят» идеи традиционной теории архитектуры и урбанистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щепетков Н.И.* Световой дизайн города. — М.: Архитектура-С, 2006. — С. 246–252.
2. *Ревзина Ю.Е., Швидковский Д.О.* Освещение памятников классической архитектуры. В поисках аутентичности // Светотехника. — 2015. — № 6. — С. 12–16.
3. *Щепетков Н.И.* Путевые заметки о светодизайне в городах США // Светотехника. — 2013. — № 3. — С. 57–64.
4. *Батова А.Г.* Принципы проектирования наружного освещения архитектурных объектов / Автореф. дис. ... к-та. арх. М., МАРХИ, 2012.
5. Дискуссия на тему «О концепции создания единой светоцветовой среды города Москвы» // Светотехника. — 2012. — № 6. — С. 49–60.



Щепетков Николай Иванович,
доктор архитектуры,
профессор. Зав. кафедрой «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА). Лауреат

Государственной премии РФ (за архитектурное освещение Москвы).
Член редколлегии журнала «Светотехника»

Самый чёрный материал в мире теперь доступен в виде спрея

Фирма *Surrey NanoSystems* (Великобритания) выпустила версию самого чёрного в мире материала «*Vantablack*» в виде спрея «*Vantablack S-VIS*», который легко наносится практически на любую поверхность практически любых оснований, в том числе полимерных, значительно расширяя масштабы применения «*Vantablack*».

Стоит заметить, что «*Vantablack*» изначально разрабатывался для изготовления эталонов типа «чёрное тело», а также для космических систем наблюдения и калибровки измерительных систем, где он повышает чувствительность и точность приборов (телескопы, монохроматоры и т.п.) за счёт повышения поглощения паразитных УФ, видимого и ИК излучений. (С тех пор появились и многие другие приложения, в том числе элементы коллекторов в солнечной энергетике, функциональные поверхности в зданиях, кинематографические проекторы и многое другое. При этом «*Vantablack*» представляет собой упорядоченный «лес» из вертикально расположенных углеродных нанотрубок, и технология производства этого материала позволяет



на стадии производства управлять высотой и густотой «леса» для получения максимума поглощения в том или ином диапазоне длин волн.)

Коэффициент отражения покрытия из «*Vantablack S-VIS*» составляет менее 0,2% (!), и он сохраняется в «целом диапазоне углов наблюдения и длин волн», что имеет решающее значение для оптических приборов, а также во многих других приложениях.

По утверждению *Surrey NanoSystems*, спрей «*Vantablack S-VIS*» подходит для массового применения.

<http://www.surreynanosystems.com>

<http://worldofmaterials.ru>

16.03.2016

На 13 развязках на МКАД появится архитектурное освещение



В 2016 г. архитектурное освещение в столице коснётся не только жилых и административных зданий, но и появится на транспортных развязках, сообщает Агентство «Москва».

Как уточняет пресс-служба Департамента топливно-энергетического хозяйства Москвы, в течение года будут выполнены работы по архитектурному освещению на 13 крупных транспорт-

ные развязках на пересечении вылетных магистралей и МКАД.

Кроме того, в рамках данной программы осветят порядка 100 новых зданий. Планируется благоустроить и ландшафтное освещение на Воробьёвых горах.

Следуя Концепции единой светоцветовой среды Москвы, для архитектурного освещения в 2016 г., как и в предыдущем, используют осветительные приборы со светом холодно- и теплобелого цветов.

Ранее Сергей Собянин дал поручение улучшить освещение на опасных участках МКАД. Об этом он сообщил в своём микроблоге в «Твиттере». (Кроме того, несколько участков МКАД в текущем году ожидает расширение.)

<http://new.mossvet.ru/>

14.03.2016

Возможное воздействие освещения светодиодами на эргономику офиса: влияние возможности плавного управления освещением на набор текстов и подбор цветов объектов по образцам¹

Л. ЛИ, Х. ЦАЙ

Канзасский университет, Канзас, США
E-mail: hycail@ku.edu

Аннотация

Исследовалось влияние предоставления работникам возможности индивидуального управления освещением светодиодами (ОСД) на выполнение ими задач по набору текстов на клавиатуре и подбору цветов объектов по образцам и на их субъективную оценку выполнения этих задач. В исследовании принимали участие 30 человек. Было установлено, что в конкретных экспериментальных условиях ОСД возможность плавного управления освещением не влияет ни на производительность труда при наборе текстов на клавиатуре, ни на субъективные оценки участниками трудности этой работы и их удовлетворённости её выполнением. В то же время производительность труда при подборе цветов объектов по образцам ухудшилась из-за воспринимаемых участниками небольших изменений коррелированной цветовой температуры (КЦТ). Однако субъективная оценка участниками трудности этой работы и их удовлетворённости её выполнением не изменилась. Оценка качества освещения офиса (например, яркости, равномерности, блёскости, КЦТ, общего индекса цветопередачи, пульсации, шума) молодыми участниками также не изменилась.

Ключевые слова: освещение светодиодами, эргономика офиса, управление освещением, набор текстов на клавиатуре, подбор цветов по образцам.

1. История вопроса

Высококачественное освещение очень важно для эргономики офисов. Ожидается, что в будущем све-

одиоды (СД) будут играть ведущую роль в освещении офисов. Смогут ли СД улучшить качество освещения современного офиса? Оказывают ли они заметное влияние на восприятие цвета, зрительное утомление, блёскость и удовлетворённость работников условиями их труда? Обычное освещение офисов, если только оно не было чрезвычайно хорошим или чрезвычайно плохим, мало влияло на его субъективное восприятие работниками офисной среды [1]. Различия в условиях освещения не влияли на среднюю производительность труда при выполнении когнитивных задач или на настроение и бодрость работников [2–5]. Однако эти результаты, полученные для освещения люминесцентными лампами (ОЛЛ), могут оказаться неверны в случае СД. До сих пор не доказано, что СД могут обеспечивать более качественное, чем ЛЛ, освещение офисов. Фактически, из-за того, что СД – очень маленькие, но очень яркие источники света, неправильно размещённые светильники с СД могут привести к возникновению проблем, таких как ослеплённость офисных работников и чрезмерно высокие уровни освещённости на рабочих поверхностях. Влияние освещения светодиодами (ОСД) на эргономику исследовалось в целом ряде работ [6–10], но исследования этого влияния в офисной среде не производились. До сих пор нет единого мнения относительно влияния ОСД на эргономику современных офисов. Ответы могут быть получены на основе результатов всестороннего исследования всех характеристик, определяющих собой качество освещения, и их влияния на эргономику офисов. Для конкретизации этой задачи в данном исследовании мы сосредоточились на влиянии возмож-

ности плавного управления ОСД на эргономику офисов.

Обеспечение офисных работников возможностью индивидуального управления светильниками с СД будет использоваться в офисах будущего, так как позволяет экономить энергию и удовлетворять индивидуальные потребности работников [11]. Вообще говоря, индивидуальное управление освещением чрезвычайно желательно и оказывает существенное влияние на настроение работников и их удовлетворённость выполнением работ [2, 4, 5, 12–16]. Однако нет никаких доказательств влияния управления освещением на выполнение офисных работ, таких как набор текстов на клавиатуре или восприятие цвета [13–16]. На деле цветопередача, обеспечиваемая регулируемые источниками света, может меняться, приводя к неверному восприятию цвета. При уменьшении уровня освещения уменьшается и насыщенность цвета [17], причём цветовые тона цветных объектов при изменении уровня освещения меняются тоже [18]. Было показано, что низкие уровни освещения и КЦТ могут способствовать повышению производительности труда амбициозных работников [19], тогда как ОЛЛ с высокой КЦТ способны улучшать самочувствие находящихся в помещении людей и продуктивности их повседневного труда [20]. К сожалению, большая часть исследований влияния возможности индивидуального управления освещением касалась ОЛЛ, а не ОСД. Осуществляемое в широких пределах плавное управление освещением, которое широко применяется в изделиях с СД, исследовалось редко.

Эргономические преимущества, которые могут получать офисные работники при наличии возможности плавного управления светильниками с СД, не исследовались до появления работы [21]. В последней, однако, не затрагивались типичные офисные работы, такие как чтение, набор текста на клавиатуре, подбор цветов и т.д. Так что до сих пор нет ясности в вопросе влияния возможности плавного управления ОСД на выполнение офисными работниками задач набора текста и подбора цветов и на их субъективные оценки качества освещения и удовлетворённости выполнением этих работ. Этому вопросу и посвящено данное исследование.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

2. Эксперимент

В первую очередь было проведено исследование световой среды в 32 офисах, включая 21 офис Канзасского университета и 11 офисов, описанных в последних исследованиях освещения и эргономики офисов [4, 5, 13, 14, 20, 22–24]. Этот обзор позволил идентифицировать типичные для этих 32 офисов условия освещения и расположение светильников, которые были положены в основу условий, в которых будет проводиться проверка исходной гипотезы.

Исходная гипотеза: Предоставленные молодым офисным работникам возможности плавного управления ОСД, в том числе общим и местным освещением, при одинаковых значениях общего индекса цветопередачи R_a , но слегка разных КЦТ, не оказывает влияния на производительность их труда и субъективную оценку выполнения задач набора текста на клавиатуре и подбора цветов на отпечатках и экранах компьютеров.

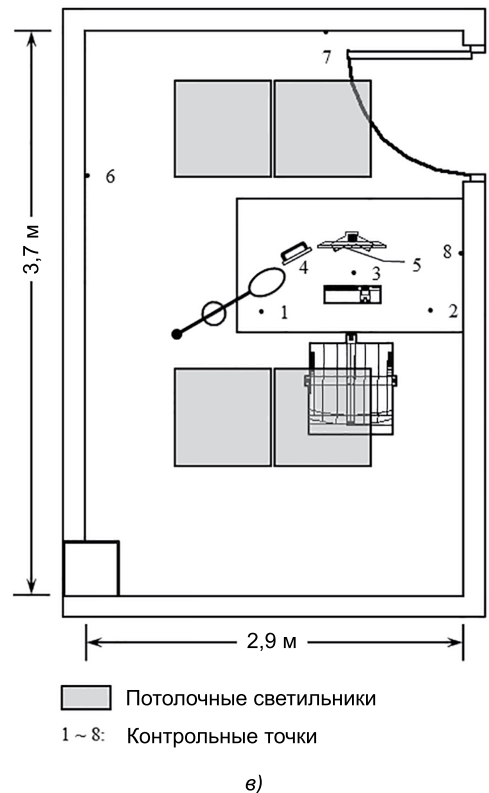
Для проверки этой исходной гипотезы в помещении без окон проведён эксперимент с участием 30 молодых людей (19 женщин и 11 мужчин) в возрасте $(21,6 \pm 3,3)$ лет, имевших остроту зрения 20/20 или 20/16, нормальное цветовое зрение и нормальную остроту слуха. Они были набраны в кампусе Канзасского университета. На рис. 1, а показан безоконный офис (шириной 2,9 м, глубиной 6,6 м и высотой 2,87 м) с подвесным потолком. В офисе установлены стол и регулируемый офисный стул. На столе размещались 23-дюймовый жидкокристаллический дисплей с задним ОСД (компания *Dell*), клавиатура, мышь, две колонки и держатель для документов. На краю стола, перед стулом, установлена изготовленная на заказ регулируемая опора для подбородка. Как показано на рис. 1, б, опора для подбородка была наклонена в сторону участника, причём угол наклона и высота расположения опоры регулировались таким образом, чтобы фиксировать положение головы участника на всём протяжении эксперимента. Системный блок настольного персонального компьютера помещён под столом. За спиной участника – видеочасть, позволяющая производить запись эксперимента (для регистрации времени). Для измерений характеристик световой сре-



а)



б)



в)

Рис. 1. Экспериментальная установка в помещении без окон:

а – фотография помещения объективом «рыбий глаз»; б – участник, голова которого зафиксирована при помощи регулируемой опоры для подбородка; в – план помещения

ды (освещённость, КЦТ) выбраны 8 точек, которые показаны на рис. 1, в. Точки 1–3 располагались на поверхности стола, точка 4 – в центре держателя для документов, точка 5 – на экране компьютера, а точки 6–8 – на стенах помещения на высоте 1,22 м от уровня пола (на уровне глаз сидящего офисного работника).

Общее освещение помещения обеспечивалось четырьмя встроенными потолочными светильниками с СД компании *Cree* (рис. 2, а) (модель *CR22–20L*, $61,6 \times 61,6$ см, КЦТ –

3500 К, $R_a – 90$). Расположение этих светильников показано на рис. 1, в. Кроме того, общее освещение было дополнено переносным напольным светильником «*Lite Source*» (рис. 2, б) с регулируемым держателем и колпаком, содержащим СД-лампу *A19* компании *Philips* (КЦТ – 2700 К, $R_a – 90$, начальный световой поток – 940 лм). Колпак предохранял глаза участников от попадания прямого света лампы для исключения прямой блёскости. Этот светильник был помещён слева от стола и не создавал ника-

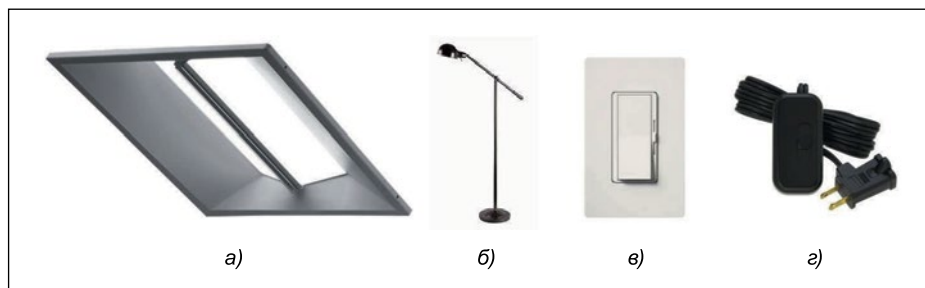


Рис. 2. Светильники и устройства управления освещением, использовавшиеся при проведении исследования:

а – светильник с СД «*CR22*» компании *Cree* (модель *CR22–20L*); б – напольный светильник местного освещения «*Lite Source*» с СД-лампой *A19* компании *Philips*; в – настенный светорегулятор «*DIVA*» компании *Lutron*; г – светорегулятор для светильников с СД «*Credenza*» компании *Lutron*

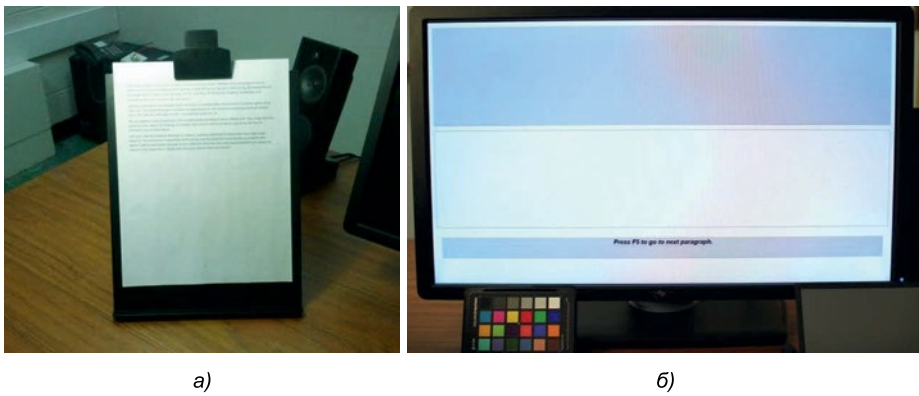


Рис. 3. Задание по набору текста на клавиатуре:
 а – чёрно-белый текст, напечатанный на листах формата А4, закреплённых в держателе;
 б – интерфейс программного обеспечения задания по набору текста на клавиатуре

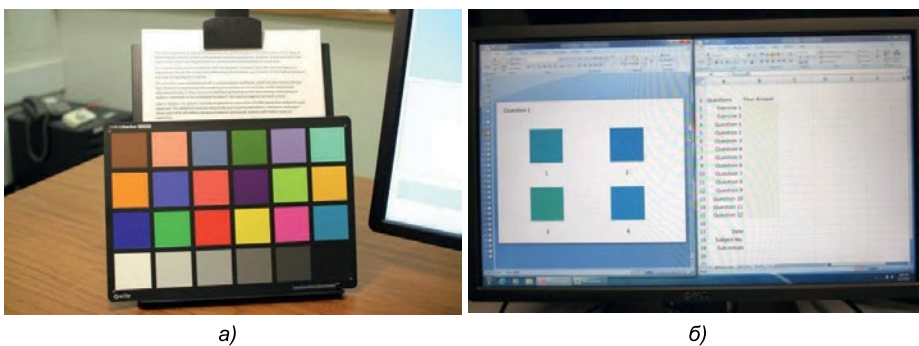


Рис. 4. Задание по подбору цветов:
 а – классическая карта цветов компании Macbeth; б – интерфейс задания по подбору цветов, демонстрирующий четыре цвета-кандидата на втором подсказочном слайде

ких вуалирующих отражений на материалах, помещаемых в держатель для документов. Использувавшийся при проведении исследований светильник местного освещения имел КЦТ 2700 К, а не 3500 К, что связано с различиями в КЦТ источников света, которые использовались в 32 обследованных офисах, и позволяло участникам с помощью индивидуального управления общим и местным освещением настраивать КЦТ в соответствии со своими предпочтениями (R_q источников света изменять было нельзя).

В этой работе исследовалось плавное управление световым потоком светильников. Настенный светорегулятор «DIVA» компании Lutron (рис. 2, в) был соединён с потолочными светильниками с СД «CR22» компании Cree и обеспечивал плавное регулирование до уровня 5%. Он находился на стене рядом со столом (рис. 1, а и б). Светорегулятор для светильников с СД «Credenza» компании Lutron (рис. 2, г) соединялся с переносным напольным светильником местного освещения и обеспечивал плавное регулирование светового

потока СД-лампы компании Philips. Он находился на правой стороне стола рядом с мышью и был легкодоступен для участников.

На всём протяжении исследований участники не имели сведений о типах и технических характеристиках компонентов системы освещения. Во избежание возможного влияния на результаты исследований эффекта Хоторна участники не оповещали о реальной цели исследований.

Задание по набору текста на клавиатуре было составлено так, чтобы одновременно охватывать как чтение, так и набор текста. Участник должен был набрать на клавиатуре печатный текст, помещённый на держатель для документов (рис. 3, а), безо всяких ограничений по времени. Все материалы печатались на бумаге формата А4 в чёрно-белом варианте с высоко контрастным шрифтом Calibri 12-го размера с одинарным междустрочным интервалом. Они содержали последние новости, взятые с сайта газеты «The University Daily Kansas». Во избежание привыкания к набору одного и того же текста каждому из 30 участников предоставлялись два

набора текстов для двух разных условий испытаний (при наличии/отсутствии возможности светорегулирования). Порядок демонстрации обоих наборов текстов для разных участников выбирался случайным образом. Выбранные тексты очень легко читались и понимались, и были преобразованы так, чтобы в них было по 1200 знаков (с пробелами), что позволяло избегать возможных различий в трудности набора из-за различий воспроизводимых текстов. Были подготовлены и дополнительные материалы (инструкции по проведению экспериментов). Для оценки скорости набора текста использовалось программное обеспечение «NRC Typing Task software» [25], интерфейс которого показан на рис. 3, б. Оно регистрировало нажатие клавиш и время, а затем по уравнению (1) [25] определяло скорость набора текста (количество знаков в секунду). Такой объединённый показатель лучше, чем два взаимозависимых показателя (например, точность и скорость), с точки зрения облегчения количественной оценки производительности труда при наборе текста на клавиатуре. После завершения задания по набору текста точность его выполнения всегда оказывалась 100%-ной.

$$\begin{aligned} \text{Оценка выполнения задания по} \\ \text{набору текста} = \\ = \frac{ВСЕГО - (\text{Курсор} + 2 \cdot \text{Возврат})}{\text{Время}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ВСЕГО – общее количество нажатий клавиш, включая клавиши управления курсором и возврата на одну позицию, Курсор – количество нажатий клавиши управления курсором, Возврат – количество нажатий клавиши возврата на одну позицию, Время – затраченное время в секундах.

Помимо этого, для оценки цветопередачи, обеспечиваемой офисным освещением при наличии и отсутствии возможности плавного управления освещением, ставилась задача по подбору цветов объектов по образцам. В держателе для документов закреплялась классическая карта цветов компании Macbeth (рис. 4, а). Не ограниченные по времени участники должны были определить, какой из четырёх предложенных вариантов цвета, представленных в левой части экрана компьютера, совпадает с образцовым цветом из карты компа-

Алгоритм выбора цветов-кандидатов*

Цвета	Значения R , G и B
Базовый цвет	R, G, B
Цвет 1: более зелёный	$R - 10, G + 20, B - 10$
Цвет 2: более жёлтый	$R + 10, G + 10, B - 20$
Цвет 3: более красный	$R + 20, G - 10, B - 10$
Цвет 4: более пурпурный	$R + 10, G - 20, B + 10$
Цвет 5: более синий	$R - 10, G - 10, B + 20$
Цвет 6: более голубой	$R - 20, G + 10, B + 10$

* Значения R , G и B , меньшие 0 или большие 255, были исключены.

нии *Macbeth*, и напечатать номер выбранного цвета в вопроснике, представленном в правой части экрана (рис. 4, б). Если участник не смог сделать выбор, он должен был указать ближайший вариант. Варианты цветов формировались посредством небольшого изменения значений R , G и B образцового цвета из карты компании *Macbeth* по алгоритму (табл. 1), разработанному компанией *Color Blender* для компьютерного проектирования [26]. Из шести сгенерированных новых цветов случайным образом выбирались три, которые вместе с образцовым цветом и образовывали четыре варианта, демонстрировавшиеся на экране. Вначале экспериментатор демонстрировал участнику один пример, используя при этом цвет тёмной кожи из карты компании *Macbeth*, вслед за чем участник мог попрактиковаться на цвете светлой кожи и цвете синего неба. В задании, состоящем из 12-ти вопросов, использовались 12 цветов из второго и третьего рядов карты компании *Macbeth* (рис. 4, б). Последовательность этих 12-ти вопросов выбиралась случайным образом. Регистрировались количество правильных ответов и время, потребовавшееся на выполнение задания. Результаты выполнения задания по подбору цвета (количество правильных ответов в расчёте на одну минуту) определялись по уравнению (2):

$$\frac{\text{Оценка выполнения задания по подбору цвета} = \text{Количество правильных ответов}}{\text{Время}} \quad (2)$$

Обратите внимание на то, что один и тот же цвет в цветовом пространстве RGB может выглядеть несколько по-разному на экране компьютера и на карте компании *Macbeth*, как это обычно и бывает в современных офисах. Такое несоответствие цветов было исследовано при наличии и отсутствии возможности управления освещением на предмет его влияния на субъективную оценку точности воспроизведения цвета. Чтобы избежать искажения цвета из-за изменения освещённости и адаптации [17, 18], светильник местного освещения регулировался таким образом, чтобы освещённости на таблице компании *Macbeth* и на экране компьюте-

ра были одинаковы. Заводские установки жидкокристаллического дисплея компьютера не изменялись на всём протяжении исследований.

Для выявления мнений участников о качестве освещения и об их удовлетворённости выполнением заданий был разработан вопросник, который участники должны были заполнять сразу после выполнения всех офисных работ. Вопросник содержал 21 вопрос и имел два раздела (Приложение). Первый раздел, составленный на основе работы [27], касался оценки качества освещения офиса. 17 вопросов охватывали оценку уровня освещения, распределения освещённости, блёскости, цветопередачи, КЦТ, шума, пульсаций и общего впечатления. Это вопросы, допускающие только один из подготовленных ответов: «согласен» или «не согласен», подходят для быстрой оценки мнения участников о различных чётко обозначенных показателях качества освещения [28]. Второй раздел включал 4 вопроса, охватывающих субъективные оценки трудности выполнения двух офисных работ и удовлетворённости их выполнением по семантической шкале «0–4» (0 – «наименее трудный» или «наименее удовлетворён», а 4 – «наиболее трудный» или «наиболее удовлетворён»).

Каждый из участников выполнял две офисные работы при наличии и отсутствии возможности плавного управления ОСД. Во избежание искажающего влияния возможности управления освещением последовательность предоставления этой возможности определялась таким образом, чтобы 15 участников сначала работали при отсутствии, а затем

при наличии возможности управления освещением, тогда как остальные 15 участников работали в обратной последовательности. Порядок проведения исследований состоял из 14 этапов. Ниже этот порядок представлен для варианта, в котором возможность управления освещением сначала отсутствует, а затем имеется. В случае обратной последовательности этапы 4–6 и 9–11 менялись местами.

Этап 1: Экспериментатор ослаблял общее освещение так, чтобы освещённость на поверхности стола, усреднённая для точек 1–3 (рис. 1), составляла примерно 400 лк при выключенном местном освещении. Затем включалось местное освещение (по максимуму).

Этап 2: По прибытии участник общал свой возраст и заявлял о наличии у него ненормального цветового зрения или ненормальной остроты слуха. Затем прошедшего отбор участника просили пройти проверку остроты зрения, для чего он должен был прочитать две таблицы Снеллена, наклеенные на заднюю стену помещения. После этого экспериментатор объяснял участнику порядок проведения эксперимента и просил его заполнить бланк согласия на участие в эксперименте.

Этап 3: Участник регулировал стул, держатель для документов, дисплей, клавиатуру и опору для подбородка, чтобы ему было абсолютно удобно. Затем отрегулированные положения и углы наклона этих предметов регистрировались для последующего воспроизведения и поддержания неизменными на всём протяжении исследований. И на всём протяжении эксперимента подборо-

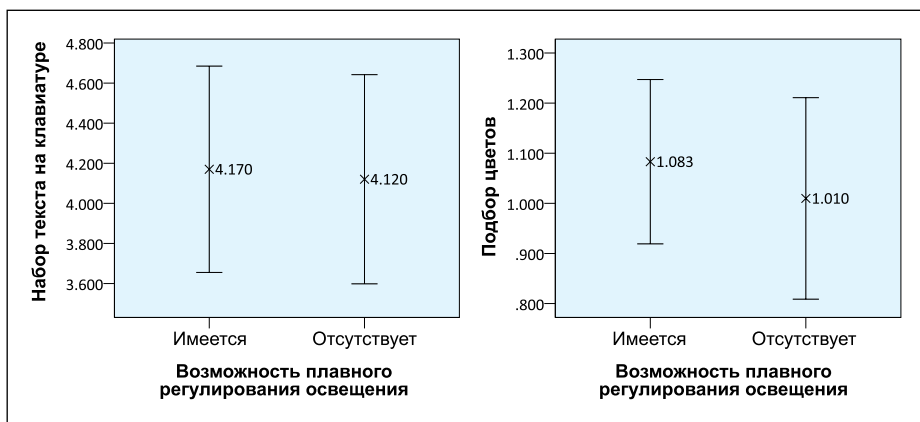


Рис. 5. Результаты выполнения заданий по набору текста на клавиатуре (количество символов, набранных за секунду) и подбору цветов при двух условиях проведения испытаний

док участника оставался на опоре для подборки.

Этап 4: Экспериментатор предлагал участнику выйти из помещения, после чего ослаблял местное освещение до тех пор, пока освещённость на поверхности карты цветов (закреплённой в держателе для документов) не становилась такой же, как на экране (примерно 350 лк). Затем участник возвращался и садился на стул, и ему предоставлялись по меньшей мере 2 мин для адаптации зрения.

Этап 5: Участник выполнял задание по набору текста на клавиатуре при отсутствии возможности индивидуального управления освещением. Перед выполнением этого задания он тренировался, набирая инструкции по проведению исследований в течение требующегося ему для тренировки времени. Затем участнику предоставлялся небольшой перерыв.

Этап 6: Участник выполнял задания по подбору цветов по образцам при отсутствии возможности индивидуального управления освещением. Перед выполнением этих заданий участник тренировался, дважды выполняя похожее задание.

Этап 7: Участник заполнял вопросник. 21 вопрос был выведен на экран компьютера. Участников просили выбрать ответ посредством мыши.

Этап 8: Участник выходил из комнаты на 20-минутный перерыв. Экспериментатор прибором Minolta «Chroma Meter CL-200A» измерял освещённость и КЦТ в восьми точках. Затем участник возвращался для проведения второй части исследования.

Этап 9: Участник регулировал (усиливая или ослабляя) общее

и местное освещение до предпочитаемого им уровня. Затем он совершал пробный набор текста для оценки освещения. Разрешалось проводить не ограниченную по времени дополнительную регулировку освещения, до тех пор, пока участник не оказывался полностью удовлетворённым условиями освещения. По завершении настройки условия освещения оставались неизменными на всём протяжении исследований. Затем участнику предоставлялись минимум 2 мин для адаптации зрения.

Этап 10: Участник снова выполнял задание по набору текста, на этот раз другое. Перед выполнением этого задания участник тренировался. Затем ему предоставлялся небольшой перерыв.

Этап 11: Участник снова выполнял задание по подбору цветов по образцам, на этот раз другое. Перед выполнением и этого задания участник тренировался.

Этап 12: Участник снова заполнял вопросник.

Этап 13: Исследование завершилось. Участник уходил. С оплатой.

Этап 14: Снова выполнялись измерения, в том числе освещённости и КЦТ, в тех же восьми точках.

Проведение исследований занимало у каждого из 30 участников от 52 до 91 мин, в среднем – 69,9 мин от стандартным отклонением 9,0 мин. Следует упомянуть, что на выполнение одного задания по набору текста или подбору цвета у участника уходило всего несколько минут, так что условия проведения испытаний могут не соответствовать выполнению этой работы на всём протяжении рабочего дня. Столь малый период выполнения задания был выбран специально,

во избежание накопления усталости у участников с течением времени, что в данном исследовании являлось бы рассеивающим внимание фактором.

3. Результаты и обсуждение

В этой работе рассматривалась одна независимая переменная: наличие (или отсутствие) возможности плавного управления ОСД. Измерялись четыре зависимые переменные, в том числе: а) полное количество знаков, набираемых в секунду при выполнении задания по набору текста на клавиатуре; б) количество правильных ответов в минуту при выполнении задания по подбору цветов по образцам; в) субъективная оценка качества освещения; г) субъективная оценка удовлетворённости выполнением задания. Чтобы остальные, не рассматривавшиеся в данном исследовании, переменные не оказывали отвлекающего воздействия, им были заранее приданы некоторые фиксированные значения.

Полученные экспериментальные данные использовались для расчёта значений четырёх зависимых переменных. Для проверки исходной гипотезы было проведено сравнение значений зависимых переменных, рассчитанных применительно к двум условиям проведения исследований (при наличии и отсутствии возможности управления освещением). Так как 30 участников проходили два испытания последовательно, то эквивалентность методов исследований выполнения заданий по набору текстов и подбору цветов оценивалась посредством двухфакторного дисперсионного анализа повторных измерений. Кроме того, этот анализ использовался применительно к ответам 30 участников на последние четыре вопроса вопросника, относящиеся к удовлетворённости выполнением заданий. В то же время, так как ответы на первые 17 вопросов относительно качества освещения были «дискретными» (согласен/не согласен), то для их оценки мы воспользовались критерием хи-квадрат, позволяющим производить анализ дискретных переменных. Результаты всех исследований анализировались с доверительной вероятностью 0,05 ($\alpha = 0,05$) при помощи Пакета программ обработки статистических данных общественных наук компании IBM.

Результаты применения описательной статистики и критерия хи-квадрат к субъективным оценкам качества освещения для четырёх разных условий испытаний

№ вопроса	Процент положительных оценок качества освещения, %		Значение p для критерия хи-квадрат
	Без управления освещением	С управлением освещением	
1	86,7	93,3	0,389
2	96,7	93,3	0,554
3	80,0	86,7	0,488
4	90,0	93,3	0,640
5	93,3	90,0	0,640
6	83,3	86,7	0,718
7	86,7	96,7	0,161
8	90,0	93,3	0,640
9	96,7	86,7	0,161
10	93,3	93,3	1,000
11	93,3	100,0	0,150
12	86,7	93,3	0,389
13	96,7	100,0	0,313
14	100,0	93,3	0,150
15	86,7	93,3	0,389
16	90,0	86,7	0,688
17	80,0	76,7	0,754

Освещённость и КЦТ измерялись в восьми точках во всех испытаниях, которые проводились с участием 30 человек в двух указанных разных условиях. Как и ожидалось, начальные уровни освещения, измеренные в расположенных на поверхности стола точках 1–3 при отсутствии возможности управления освещением, были очень близки друг к другу во всех 30 экспериментах: в среднем, $(394 \pm 58,7)$ лк в точке 1; $(595,9 \pm 108,9)$ лк в точке 2 и $(320,9 \pm 6,6)$ лк в точке 3. Однако предпочтительные уровни освещённости, установленные при наличии возможности управления освещением, оказались несколько меньшими и имеющими больший разброс: $(365,7 \pm 135,6)$ лк в точке 1; $(571,0 \pm 230,0)$ лк в точке 2 и $(237,8 \pm 107,5)$ лк в точке 3. Чтобы избежать искажения цвета, начальные уровни освещённости в точках 4 (на держателе для документов) и 5 (на экране компьютера), имевшиеся до начала регулирования освещения, были почти одинаковы: в среднем, $(351,2 \pm 20,3)$ лк в точке 4 и $(336,2 \pm 17,1)$ лк в точке 5. Возможность индивидуального управления освещением нарушила это равновесие и привела к увеличению разброса: $(467,5 \pm 223,9)$ лк в точке 4 против $(318,9 \pm 131,5)$ лк в точке 5. Точки 6–8 располагались на стенах. Начальные освещённости в этих точках – в среднем, $(217,2 \pm 6,4)$ лк в точке 6; $(278,2 \pm 6,2)$ лк в точке 7 и $(269,8 \pm 7,6)$ лк в точке 8 – были значительно выше, чем установленные участниками: $(165,9 \pm 68,5)$ лк в точке 6; $(204,0 \pm 95,1)$ лк в точке 7 и $(198,4 \pm 88,7)$ лк в точке 8. Большой разброс начальной освещённости на поверхности стола до начала управления освещением обусловлен различиями в отрегулированных разными участниками положениях и наклонах держателя для документов и экрана компьютера, которые повлияли на начальную настройку местного освещения экспериментатором, старавшимся уравнивать освещённости в точках 4 и 5, что и повлекло изменение начальной освещённости на поверхности стола. Средние значения КЦТ, измеренные в восьми точках без возможности управления освещением, то есть при неизменном ОСД, составляли (3125 ± 92) К. После индивидуального управления освещением измеренные значения КЦТ изменились, составив (3071 ± 120) К. Обра-

тите внимание на то, что при изменении КЦТ в пределах ± 60 К цветовые различия едва заметны, тогда как изменение КЦТ в пределах ± 100 К даёт предельное цветовое различие, считающееся допустимым для осветительных установок [29].

Усреднённые полные количества знаков, набираемых в секунду (с точностью 100%), и усреднённые количества правильных ответов в минуту при выполнении задания по подбору цветов, приведены на рис. 5 для двух рассматривавшихся условий освещения с указанием погрешностей. Согласно результатам дисперсионного анализа повторных измерений, предоставление возможности индивидуального управления освещением при выполнении задания по набору текста не приводит к каким бы то ни было статистически значимым изменениям ($p = 0,527$). Однако при подборе цветов по образцам возможность управления освещением при-

водит к существенному изменению результатов ($p = 0,047$). Усреднённая по участникам точность подбора цветов в минуту при наличии возможности управления освещением оказалась меньшей, чем при отсутствии такой возможности (1,010 и 1,083 соответственно), а это значит, что предоставление участникам возможности плавного управления освещением повлияло на их способность к подбору цветов при ОСД.

Более того, на основе результатов применения описательной статистики к данным участниками оценкам качества освещения и значений p для критерия хи-квадрат (табл. 2) было установлено, что при разных условиях освещения субъективные оценки качества освещения отличаются друг от друга несущественно. Наличие возможности управления освещением не привело к значительным различиям в оценке участниками качества освещения.

Приложение

Вопросы		Ответы
Оценка качества освещения		
Вопросы, связанные с уровнем освещения		
1	Освещение слишком сильное для выполнявших мною заданий	Согласен/не согласен
2	Освещение слишком слабое для выполнявших мною заданий	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с распределением освещённости		
3	Освещённость распределена плохо, с неприемлемым уровнем равномерности	Согласен/не согласен
4	Освещение приводит к образованию нежелательных густых теней	Согласен/не согласен
5	Контраст задания с фоном слишком сильный и некомфортный	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с блёскостью		
6	Отражённый свет светильников затрудняет выполнение работы	Согласен/не согласен
7	Светильники слишком яркие	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с индексом цветопередачи		
8	Моя кожа при этом освещении имеет неестественный цвет	Согласен/не согласен
9	Находящиеся в помещении цветные объекты выглядят нереальными или плохо различимы	Согласен/не согласен
Вопросы, связанные с КЦТ		
10	Освещение слишком тёплое для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
11	Освещение слишком холодное для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
12	Цветовая температура освещения прекрасно подходит для меня или для выполнявшейся мною работы	Согласен/не согласен
Другие физические параметры		
13	На всём протяжении исследований имела место пульсация освещения	Согласен/не согласен
14	Имело место нежелательное гудение осветительной установки	Согласен/не согласен
Общее впечатление		
15	В целом, освещение комфортное	Согласен/не согласен
16	В целом, это офисное освещение приемлемо	Согласен/не согласен
17	В целом, мне нравится жить и работать при этом офисном освещении	Согласен/не согласен
Удовлетворённость выполнением задания		
18	Как Вы оцениваете трудность выполнения предложенного Вам задания по набору текста на клавиатуре? (0 – наиболее лёгкое, 4 – наиболее трудное)	5-балльная шкала (0–4)
19	Как Вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением предложенного Вам задания по набору текста на клавиатуре? (0 – наименее удовлетворён, 4 – наиболее удовлетворён)	5-балльная шкала (0–4)
20	Как Вы оцениваете трудность выполнения предложенного Вам задания по подбору цветов по образцам? (0 – наиболее лёгкое, 4 – наиболее трудное)	5-балльная шкала (0–4)
21	Как Вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением предложенного Вам задания по подбору цветов по образцам? (0 – наименее удовлетворён, 4 – наиболее удовлетворён)	5-балльная шкала (0–4)

Результаты применения описательной статистики к данным участниками оценкам удовлетворённости

с выполнением задания приведены в табл. 3, а в табл. 4 даны результаты применения к этим результатам

дисперсионного анализа повторных измерений. Ни одно из значений p не оказалось ниже 0,05, так что возмож-

Результаты применения описательной статистики к оценкам удовлетворённости

№ вопроса	Без управления освещением		С управлением освещением	
	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
18	0,9	0,8	0,8	0,8
19	2,8	1,1	2,9	0,7
20	2,3	0,9	2,1	1,0
21	2,7	0,9	2,6	0,8

Таблица 4

Результаты применения дисперсионного анализа повторных измерений к ответам на вопросы 18–1

Источник	Сумма квадратов, тип III	df	Среднее квадратичное	F	p
Вопрос 18: Как вы оцениваете сложность выполнения задания по набору текста на клавиатуре?					
С управлением освещением	0,033	1	0,033	0,102	0,752
Погрешность (с управлением освещением)	9,467	29	0,362		
Вопрос 19: Как вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением задания по набору текста на клавиатуре?					
С управлением освещением	0,133	1	0,133	0,177	0,677
Погрешность (с управлением освещением)	21,867	29	0,754		
Вопрос 20: Как вы оцениваете сложность выполнения задания по подбору цветов?					
С управлением освещением	0,533	1	0,533	1,410	0,245
Погрешность (с управлением освещением)	10,967	29	0,378		
Вопрос 21: Как вы оцениваете свою удовлетворённость выполнением задания по подбору цветов?					
С управлением освещением	0,033	1	0,033	0,097	0,758
Погрешность (с управлением освещением)	9,967	29	0,344		

ность плавного управления ОСД не повлияла на оценку участниками ни сложности выполнения задания по набору текстов ($p = 0,752$) и их удовлетворённости выполнением этого задания ($p = 0,677$), ни сложности выполнения задания по подбору цвета ($p = 0,245$) и удовлетворённости выполнением этого задания ($p = 0,758$).

6. Выводы и обсуждение

В результате исходная гипотеза, проверке которой посвящалось это исследование, была частично отвергнута. При конкретных условиях ОСД, которые были реализованы в этом исследовании, предоставление возможности плавного управления освещением не повлияло ни на скорость набора текстов участниками ($p = 0,527$), ни на субъективную оценку участниками сложности выполнения задания по набору текста ($p = 0,752$) и удовле-

творённость выполнением этого задания ($p = 0,677$). Это свидетельствует о том, что использовавшиеся при проведении исследования светильники с СД изначально обеспечивали высококачественное освещение, способное удовлетворять потребности участников при выполнении ими задания по набору текста в помещении, уровни освещённости в котором соответствовали условиям дневного зрения. Дополнительная плавная настройка освещения применительно к индивидуальным потребностям участников не привела к такому улучшению качества, которое повлияло бы на скорость набора текстов участниками и на их субъективные оценки выполнения этого задания. Эти результаты согласуются с результатами, полученными ранее применительно к ОЛЛ [2] и говорящими о том, что удовлетворённость участников не связана с эффективностью выполне-

ния когнитивных задач (когнитивная задача восприятия и распознавания текста является частью задачи по набору текста).

В то же время при конкретных условиях ОСД, реализованных в этом исследовании, предоставление возможности плавного управления освещением привело к снижению производительности труда при подборе цветов по образцам ($p = 0,047$), однако участники не заметили сколь-нибудь существенного изменения качества освещения. Различия в измеренных в восьми точках значениях КЦТ при наличии и отсутствии возможности плавного управления ОСД обусловлены смешением общего (3500 К) и местного (2700 К) освещения в разных пропорциях, определяемых предпочтениями конкретных участников. Индивидуальное управление освещением нарушило баланс освещённостей на карте цветов ком-

пани *Macbeth* и на экране компьютера, на котором демонстрировались варианты цвета, что повлекло за собой искажение цвета и изменение его насыщенности [17, 18] и привело к некоторому снижению производительности труда при подборе цветов по образцам. Тем не менее субъективные оценки сложности выполнения задания по подбору цветов ($p = 0,245$) и удовлетворённости выполнением этого задания ($p = 0,758$) не изменились. Значения R_a (90) использовавшихся источников света очень хорошо обеспечивали восприятие цвета в офисе, чтобы минимизировать отрицательные последствия снижения производительности труда при выполнении задания по подбору цветов при небольшом изменении условий освещения (при наличии и отсутствии возможности управления освещением).

Кроме того, предоставление возможности плавного управления ОСД не повлияло на оценку молодыми участниками качества освещения помещения (например, яркости, равномерности, блёскости, КЦТ, R_a , пульсации, шума), а это свидетельствует о том, что изменение других факторов (например, распределения яркости по рабочей и фоновым поверхностям, возможной блёскости, пульсации и шума, создаваемых осветительной установкой, и т.д.), сопутствующее возможности плавного управления освещением, не оказывало сколь угодно существенного влияния.

Отметим, что эти выводы относятся к рассмотренным в этой работе ОСД и выполнению заданий по набору текстов на клавиатуре и подбору цветов по образцам. Эти условия могут не отражать все возможные варианты современного офисного освещения и выполняемых в офисах работ. К счастью, СД источники света, предназначенные для современных офисов, будут обеспечивать даже более качественную цветопередачу при всех регулируемых уровнях освещения. Для охвата условий, выходящих за рамки этой работы (например, более пожилые офисные работники, другие спектры излучения, охват всего рабочего дня), потребуются дополнительные исследования.

Эта работа финансировалась Комиссией по исследованиям в области эргономики офисов (грант № 13270).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Leaman A., Bordass, B.* Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications // *Building Research & Information* – 2001. – Vol. 29, No. 2. – P. 129–143.

2. *Veitch, J.A., Gifford, R.* Choice, perceived control, and performance decrements in the physical environment // *Journal of Environmental Psychology*. – 1996. – Vol. 16. – P. 269–276.

3. *Eklund, N.H., Boyce, P.R., Simpson, S.N.* Lighting and sustained performance // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 2000. – Vol. 29, No. 1. – P. 116–30.

4. *Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Myer, M., Hunter, C.* Lighting quality and office work: a field simulation study. Pacific Northwest National Laboratory, 2003.

5. *Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C.M.* Lighting quality and office work: two field simulation experiments // *Lighting Research & Technology*. – 2006. – Vol. 38, No. 3. – P. 191–223.

6. *Thompson, M., O'Reilly, U.M.* An Investigation into the Perception of Color under LED White Composite Spectra with Modulated Color Rendering // *Proc. for the 6th Light Research Office Symposium in Light and Color*, Lake Buena Vista, FL, February 2006.

7. *Hawes, B.K., Brunyé, T.T., Mahoney, C.R., Sullivan, J.M., Aall, C.D.* Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state // *Int. Journal of Industrial Ergonomics*. – 2012. – Vol. 42. – P. 122–128.

8. *Bhardwaj, S., Özçelebi, T., Lukkien, J.J.* Smart lighting using LED luminaries. The 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops 2010, Mannheim, Germany, March 29–April 2, 2010), (pp. 654–659). IEEE, 2010.

9. *Reijula, J., Grohn, M., Müller, K., Reijula, K.* Human well-being and flowing work in an intelligent work environment // *Intelligent Buildings International*. – 2011. – Vol. 3. P. 223–237.

10. *Wilkins, A.J., Veitch, J.A., Lehman, B.* LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. Recommending practices for modulating current in High Brightness LEDs for mitigating health risks to viewers. Retrieved 15 July, 2013 from <http://grouper.ieee.org/groups/1789/>.

11. *Cai, H., Chung, T. M.* (2013). Evaluating discomfort glare from non-uniform electric light sources // *Lighting Research & Technology*. 2013. – Vol. 45, No. 3. – P. 267–294.

12. *Veitch, J.A., Newsham, G.R., Boyce, P.R., Jones, C.C.* Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach // *Lighting Research & Technology*. – 2008. – Vol. 40. – P. 133–151.

13. *Veitch, J.A., Newsham, G.R.* Exercised control, lighting choices, and energy use: an office simulation experiment // *Journal of Environmental Psychology*. – 2000. – Vol. 20, No. 3. – P. 219–237.

14. *Veitch, J.A., Newsham, G.R.* Preferred Luminous Conditions in Open-Plan Offices: Research and Practice Recommendations // *Lighting Research & Technology*. – 2000. – Vol. 32, No. 4. – P. 199–212.

15. *Boyce, P.R., Eklund, N.H., Simpson, S.N.* Individual lighting control: task performance, mood, and illuminance // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 2000. – Vol. 29, No. 1. – P. 131–142.

16. *Newsham, G., Veitch, J., Arsenault, C., Duval, C.* Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance. IESNA Annual Conference Proceedings, Tampa, Florida, July 25–28, 2004, pp. 19–41.

17. *Hunt, R.W.G.* Light and dark adaptation and the perception of color // *Journal of the Optical Society of America*. – 1952. – Vol. 42, No. 3. – P. 190–199.

18. *Davis, W., Ohno, Y.* Studies on the effect of illuminance on color rendering. Light and Lighting Conference with Special Emphasis on LEDs and Solid State Lighting, 27–29 May 2009, Budapest, Hungary, 2009.

19. *Baron, R.A., Rea, M.S., Daniels, S.G.* Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors: the potential mediating role of positive affect // *Motivation and Emotion*. – 1992. – Vol. 16, No. 1. – P. 1–33.

20. *Mills, P.R., Tomkins, S.C., Schlangen, L.J.* The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance // *Journal of Circadian Rhythms*. – 2007. – Vol. 5, No. 2. – P. 1–9.

21. *Ono, K., Miki, M., Yoshimi, M., Nishimoto, T., Omi, T., Adachi, H., Akita, M., Kasahara, Y.* Development of an Intelligent Lighting System Using LED Ceiling Lights into an Actual Office. *Electronics and Communications in Japan 2012*, 95(10) // Translated from *Denki Gakkai Ronbunshi*. – 2011. – Vol. 131-A(5). – P. 321–327.

22. *Newsham, G.R., Veitch, J.A.* Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation // *Lighting Research & Technology*. – 2001. – Vol. 33, No. 2. – P. 97–116.

23. *Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Arsenault, C.D., Mancini, S.* High-quality lighting: energy-efficiency that enhances employee well-being. CIE2010 Lighting Quality and Energy Efficiency, Vienna, Austria, March 14–17, 2010, pp. 197–204.

24. Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M., Hunter, C.M. Occupant use of switching and dimming controls in offices // *Lighting Research & Technology*. – 2006. – Vol. 38, No. 4. – P. 358–378.

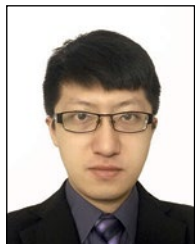
25. National Research Council (NRC). Manual of typing task software. Retrieved 11 October, 2012, from <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/task-performance.html>.

26. Color Blender. Retrieved 9 November, 2012, from <http://www.colorblender.com>.

27. Eklund, N.H., Boyce, P.R. The development of a reliable, valid, and simple office lighting survey // *Journal of the Illuminating Engineering Society*. – 1996. – Vol. 25, No. 2. – P. 25–40.

28. Instructional Assessment Resources (IAR). 2007. Survey question types. Instructional Assessment Resources, the University of Texas at Austin. Retrieved 12 January, 2012, from http://www.utexas.edu/academic/ctl/assessment/iar/teaching/plan/method/survey/survey_tables_questiontypes.pdf.

29. Harbers, G., McGroddy, K., Petluri, R., Tseng, P.K., Yriberry, J. Visual color matching of LED and tungsten halogen light sources. Proc. of CIE2010 Lighting Quality and Energy Efficiency, 14–17 March 2010, Vienna, Austria: CIE, 482–487.



Линьцзе Ли (Linjie Li), *M. Sc.* Инженер-испытатель компании Cree. Специалист по измерениям фотометрических и спектрометрических характеристик

светотехнических изделий. Член Светотехнического общества Северной Америки



Хонги Цай (Hongyi Cai), *Dr.* Доцент факультета гражданского строительства, инженерных методов охраны окружающей среды и архитектуры Канзасского

университета, США. Основатель и научный руководитель светотехнической лаборатории Канзасского университета. Член Светотехнического общества Северной Америки и Международной ассоциации светодизайнеров

ПАМЯТИ ЛЮДМИЛЫ ВАСИЛЬЕВНЫ АБРАМОВОЙ (05.03.1942–21.03.2016)

21 марта 2016 г. после тяжёлой продолжительной болезни скончалась Людмила Васильевна Абрамова, учёный, педагог, организатор науки, кандидат технических наук, профессор, многолетний член редакционной коллегии журнала «Светотехника».

Л.В. Абрамова родилась в с. Зыково Мордовской АССР. В 1964 г. окончила Мордовский государственный университет по специальности «Светотехника и источники света». В 1975 г. защитила кандидатскую диссертацию, в 1979 г. получила учёное звание доцента, а в 2001 г. – профессора.

Вся жизнь и трудовая деятельность (48 лет) Л.В. Абрамовой неразрывно связаны с Мордовским государственным университетом им. Н.П. Огарёва, в стенах которого она прошла путь от преподавателя до декана.

Возглавляя почти два десятилетия (1984–1994 гг. и 1999–2009 гг.) светотехнический факультет Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, Людмила Васильевна внесла огромный вклад в его становление и развитие как учебно-научного центра по подготовке инженеров по специальности «Светотехника и источники света».

Несмотря на большую загруженность административной работой, Л.В. Абрамова постоянно занималась научными исследованиями. Под её руководством: велись долгосрочные договорные работы по разработке и конструированию световых приборов и систем освещения по заказам таких предприятий, как ОАО «Лисма», ВНИИИС им. А.Н. Лодыгина, Исфаринский и Ардатовский светотехнические заводы, Ленинск-Кузнецкий электроламповый завод; выполнялись научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по повышению качества электрических источников света. С 1991 г. Л.В. Абрамова – директор Научно-исследовательского института изучения воздействия оптического из-



лучения на организм человека (НИИ «Человек и свет») при Мордовском государственном университете, который объединил учёных светотехнического, медицинского и биологического факультетов.

Творческий научный вклад Л.В. Абрамовой характеризуют более 200 научных публикаций и авторских свидетельств

на изобретения, 2 монографии. Под научным руководством профессора Л.В. Абрамовой подготовлено 5 кандидатов технических наук.

Одновременно с научной деятельностью Людмила Васильевна вела большую педагогическую работу, являясь заведующей кафедрой светотехники. Многие годы читала лекции по курсам «Основы светотехники» и «Основы физиологической оптики и колориметрии», руководила аспирантами и дипломными работами, вела методическую работу по постановке новых лекционных курсов и лабораторных работ.

Признание заслуг Л.В. Абрамовой отмечено знаком отличия «Почётный работник высшего профессионального образования РФ», почётным званием «Заслуженный работник высшей школы Республики Мордовия», званием лауреата Государственной премии Республики Мордовия в области науки и техники и др. наградами.

Безупречный профессионализм, принципиальность и ответственность за своё дело, умение работать с людьми снискали Л.В. Абрамовой большое уважение её коллег. Она останется в их памяти высоким профессионалом, который все свои силы отдавал развитию светотехники.

Светлая память о Людмиле Васильевне Абрамовой сохранится в наших сердцах, в сердцах всех, кто её знал и любил.

Редколлегия и редакция журнала, коллектив Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, ученики и друзья

Исследование зрительной работоспособности и утомления при работе с чёрным текстом на цветном фоне

С. М. КУДРЯКОВА, В. Ю. СЧЕТКОВ

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: sofiakudria@gmail.com

Аннотация

Работая с текстовыми документами на компьютере, большинство пользователей выбирают чёрный цвет текста на белом фоне. Авторы определили, что применение правильно подобранного цветного фона вместо ахроматического может улучшать качество работы с текстом, повышать работоспособность и снижать утомление, и дали не только качественные рекомендации по выбору цветного фона для разных уровней напряжённости, ответственности и длительности работы с текстом, но и количественные обоснования преимущества того или иного варианта.

Ключевые слова: цветной фон, зрительная работоспособность, зрительное утомление, цветовой контраст.

Требования нормативных документов

На сегодня, по российскому стандарту [1], предлагается не использовать синий цвет на тёмном фоне, красный цвет на тёмном фоне, красный цвет на насыщенном синем фоне.

Предлагается также учитывать появление нежелательного для длительного чтения эффекта «глубины» изображаемого пространства, при использовании крайних цветов видимого спектра [2]. Более подробные рекомендации по выбору цветов фона или текста в нормативных документах отсутствуют.

Исследование

Качество работы с текстом авторами оценивалось по уровням зрительной работоспособности и зрительного утомления (по яркостной адиспаропии), а методика расчётного определения цветового контраста между текстом с чёрными буквами и цвет-

ным фоном (по цветности и светлоте) основывалась на равноконтрастной системе¹ А. Б. Матвеева и Н. М. Беляевой [3]. Все эксперименты проводились в учебной аудитории с компьютером и искусственным общим освещением. Участники эксперимента установили удобные для себя условия освещения: горизонтальную освещённость 1000 лк и освещённость на плоскости экрана 500 лк. При этом коэффициент пульсации светового потока в помещении не превышал 5%, а обобщённый показатель дискомфорта – 15, и в поле зрения наблюдателя прямой свет светильников отсутствовал. Работа с текстом велась на экране ноутбука. Экран – матовый, пропускающего типа, с задним освещением светодиодами, выполненный по технологии «IPS-ASS». Для измерения яркости и координат цветности использовались яркомер «LS-100» (Konika Minolta) и спектроколориметр «ТКА-ВД». Все участники эксперимента имели нормальное цветовое зрение.

Для определения работоспособности и утомления использовалась тест-программа «Test Vision» [4–7]: для тестирования на зрительную работоспособность и на зрительное утомление по яркостной адиспаропии.

Тест на зрительную работоспособность для одного наблюдателя с одним фоном занимал 30 мин. В течение этого времени каждые 5 с в заголовке и в произвольном месте текста возникали два знака, и наблюдателю необходимо было как можно быстрее определить тождественность этих пар. Зрительную работоспособ-

¹ В этой системе учитывается адаптационное и индукционное влияние цвета окружающих объектов при расчёте координат цвета, связанных гиперболической зависимостью с соответствующими координатами цвета физиологической системы КЗС.

ность программа рассчитывала по формуле

$$\eta = N_{\text{пр}} / (N_{\text{об}} \cdot t_{\text{ср}}),$$

где $N_{\text{пр}}$ – число правильных ответов, $N_{\text{об}}$ – число предъявлений стимула, а $t_{\text{ср}}$ – среднее время, затраченное на «обработку» наблюдателем одного предъявления.

В окне теста на зрительное утомление по яркостной адиспаропии на сером фоне яркостью 40 кд/м² выводились изображения двух соприкасающихся ахроматических полукругов примерно вдвое меньшей яркости, но различающихся по яркости на три порога, и кнопка «больше не вижу отличия». Наблюдателю следовало смотреть в центр соприкасающихся полукругов (в центр круга) и при исчезновении различия в восприятии их по яркости и кажущемуся слиянии нажать на кнопку «больше не вижу отличия». По результатам программа рассчитывает относительное зрительное утомление Y_a по формуле

$$Y_a = (1 - t_2 / t_1) \cdot 100,$$

где t_1 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга перед началом исследования на зрительное утомление, а t_2 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга после завершения этапа исследования на зрительное утомление.

Программа вычисляла и комплексный параметр Q :

$$Q = 100 \cdot \eta / Y_a.$$

После измерения координат цветности цветов фона на экране компьютера и их анализа на диаграмме цветности равноконтрастной системы А. Б. Матвеева авторы выбрали 11 вариантов цветов для последующих экспериментов.

Перед основным экспериментом десятерым наблюдателям было предложено прочитать страницу текста на цветном фоне, посчитать на каждой странице количество заданных сочетаний двух букв и оценить удобство работы по 5-балльной шкале качества [8]. По итогам предварительного теста для каждого из фонов рассчитывался коэффициент k , характеризующий качество работы наблюдателей и равный отношению числа правиль-

но определённых сочетаний букв к общему количеству предложенных сочетаний. Было отобрано 6 цветов, имевших наибольший балл и высший коэффициент качества работы k . Эти цвета и названные выше параметры представлены в табл. 1. Учитывая подготовительный, тренировочный характер этого исследования, оценка каждого наблюдателя в конце эксперимента уточнялась им самим; поэтому цифры в этой таблице приведены без учёта статистического разброса оценок.

В основном эксперименте участвовали 6 наблюдателей в возрасте от 20 до 25 лет. Эксперимент длился 6 рабочих дней, в течение которых всем наблюдателям настоятельно рекомендовалось соблюдать режим дня и спать не менее 7 ч в сутки. Наблюдатели разделялись на две группы, первая проходила эксперименты с 10 до 12 ч, а вторая – с 16 до 18 ч, так как по имеющимся данным [9] работоспособность максимальна именно в эти часы. За 6 дней каждый наблюдатель прошёл 6 испытаний с 6 разными цветами фона, включая белый. Каждое исследование состояло из 8-минутного предварительного теста для адаптации к условиям работы и основного 30-минутного теста на зрительную работоспособность. Кроме того, перед тестом на зрительную работоспособность, через 10 и 20 мин. в течение теста и после завершения работы проводился тест на зрительное утомление.

При итоговом опросе все испытуемые (наблюдатели) отметили, что предпочитают работу на цветном фоне работе на белом. По мнению наблюдателей, на многих цветных фонах комфортнее работать и проще замечать изменение знаков в тексте. Наилучшими назвали голубой, зелёный и фиолетовый фоны.

Обобщая полученные результаты, стоит отметить, что при выборе цветного фона важными факторами являются величины напряжённости, длительности и ответственности предлагаемой работы с текстом. По результатам эксперимента авторы выделили 3 группы предпочтительных цветов для фона:

- Цвета, при которых высокая зрительная работоспособность, а зрительное утомление среднее. Рекомендуются при нормальной дневной нагрузке работы с текстом. В данную группу вошли цветные

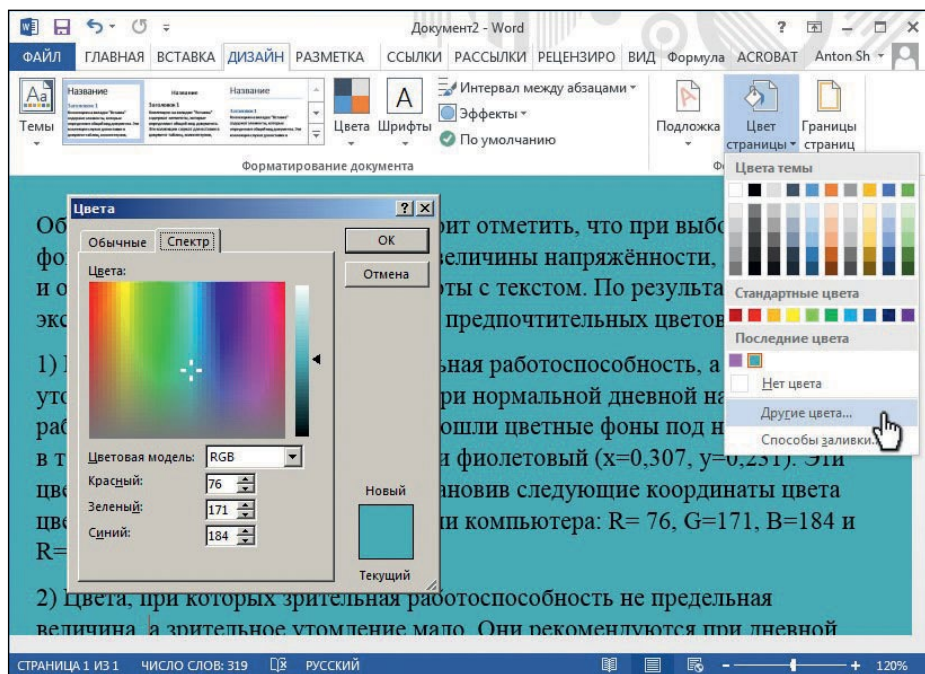


Рис. 1. К выбору координат цвета цветовой системы компьютера для первой группы цветов фона

Таблица 1

Результаты предварительного эксперимента

Образец цвета фона	№ образца цвета фона	Оценка	Коэффициент качества работы k
	1	4,0	0,94
	3	3,9	0,95
	6	3,0	1,00
	8	4,0	0,96
	10	3,3	0,99
	0	4,5	0,93

Таблица 2

Характеристики цветов, рекомендуемых для фона

Цвета	x	y	Яркость фона L_f , кд/м ²	Чистота p , %
Голубые	0,21–0,26	0,30–0,40	65–120	20–40
Зелёные	0,30–0,40	0,40–0,50		30–50
Фиолетовые	0,21–0,31	0,20–0,25		10–30
Оранжево-жёлтые	0,40–0,43	0,35–0,40		20–50

фоны под номерами 3 и 8 в табл. 1: голубой ($x = 0,258, y = 0,326$) и фиолетовый ($x = 0,307, y = 0,231$). Эти цвета на экране можно получить, установив следующие координаты цвета цветовой системы используемого нами компьютера: $R = 76,$

$G = 171, B = 184$ (рис. 1) и $R = 177, G = 109, B = 191$.

- Цвета, при которых зрительная работоспособность не предельная, а зрительное утомление мало. Они рекомендуются при дневной нагрузке пользователя, превышающей нор-

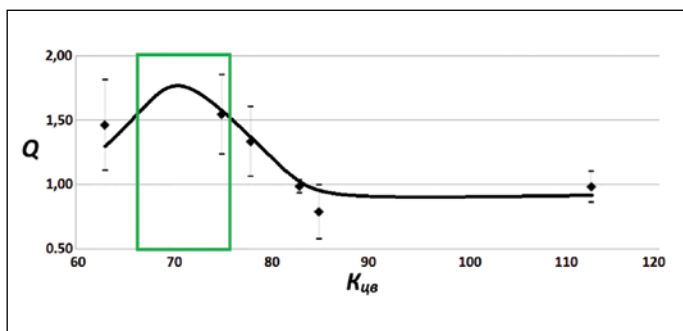


Рис. 2. Зависимость усреднённого по 6 наблюдателям комплексного параметра Q от цветового контраста в порогах. Доверительные интервалы построены для вероятности $p = 0,95$

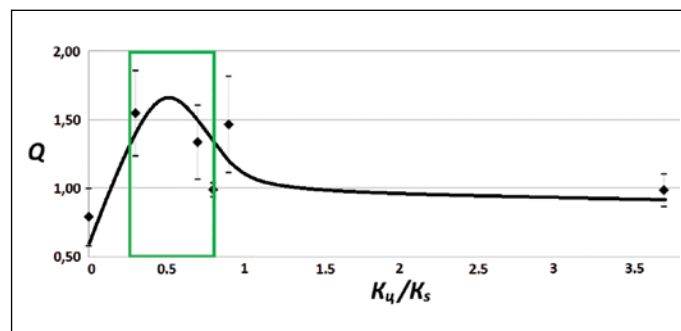


Рис. 3. Зависимость усреднённого по 6 наблюдателям комплексного параметра Q от отношения $K_{ц}/K_{с}$. Доверительные интервалы построены для вероятности $p = 0,95$

мальную нагрузку. К данной группе относится зелёный фон ($x = 0,386$, $y = 0,491$): № 1 в табл. 1. Этот цвет на экране можно получить, установив следующие координаты цвета цветовой системы используемого нами компьютера: $R = 140$, $G = 167$, $B = 73$.

- Цвета, при которых зрительная работоспособность высока и высоко зрительное утомление. Эту группу цветов рекомендуется использовать при краткосрочной работе с текстом. В качестве примера приведём фон ярко-зелёного насыщенного цвета ($x = 0,338$, $y = 0,613$): № 10 в табл. 1. Этот цвет на экране можно получить, установив следующие координаты цвета цветовой системы используемого нами компьютера: $R = 0$, $G = 255$, $B = 0$.

Результаты эксперимента представлены на рис. 2, из которого

видно, что область предпочтительного цветового контраста лежит в пределах от 65 до 75 порогов цветового контраста. Однако цветовой контраст не является решающим, поскольку и белый цвет фона может иметь с символами текста такой же цветовой контраст.

Важной характеристикой служит отношение контрастов знаков с фоном по цветности ($K_{ц}$) и светлоте ($K_{с}$). На рис. 3 приведён график зависимости комплексного показателя Q от этого отношения ($K_{ц}/K_{с}$). Область лучших значений $K_{ц}/K_{с}$ лежит между 0,3 и 0,7. Были определены приемлемые значения $K_{ц}$ и $K_{с}$ – от 50–75 до 20–50 порогов соответственно.

На основании значений $K_{ц}$ на равноконтрастном графике А.Б. Матвеева была определена область лучших цветов для фона (рис. 4). В эту

область входят также красные цвета, однако их использование мы предлагаем исключить, так как они могут негативно влиять на психологическое и физическое состояние человека [2, 10].

В табл. 2 представлены возможные координаты цветности (x , y), диапазоны яркости $L_{ф}$ и чистоты цветов p рекомендуемых нами фонов при работе с чёрным текстом на экране компьютера при яркости букв текста 6 кд/м².

Выводы

Согласно полученным в работе данным, использование цветных фонов вместо белых позволяет удвоить зрительную работоспособность или в 1,5 раза снизить зрительное утомление. По мнению авторов, приемлемые цвета для фона при работе с чёрным текстом могут обладать $K_{ц}$ и $K_{с}$ – от 50–75 до 20–50 порогов соответственно, при этом красные цвета в качестве фона использовать не рекомендуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 9241–8–2007 «Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видео дисплейных терминалов (ВДТ). Часть 8. Требования к отображаемым цветам».
2. ГОСТ Р 50948–2001 «Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности».
3. Соснова Т.Л., Фрид Ю.В., Соколова Е.Г., Лосева Е.И. Цветовое оформление на железнодорожном транспорте // М.: Транспорт, 1984. – С. 200.
4. Черезова М.В., Кудрявцева М.В., Снетков В.Ю. Тест-программа для оценки качества текстовых изображений на дисплее компьютера // Тезисы докла-

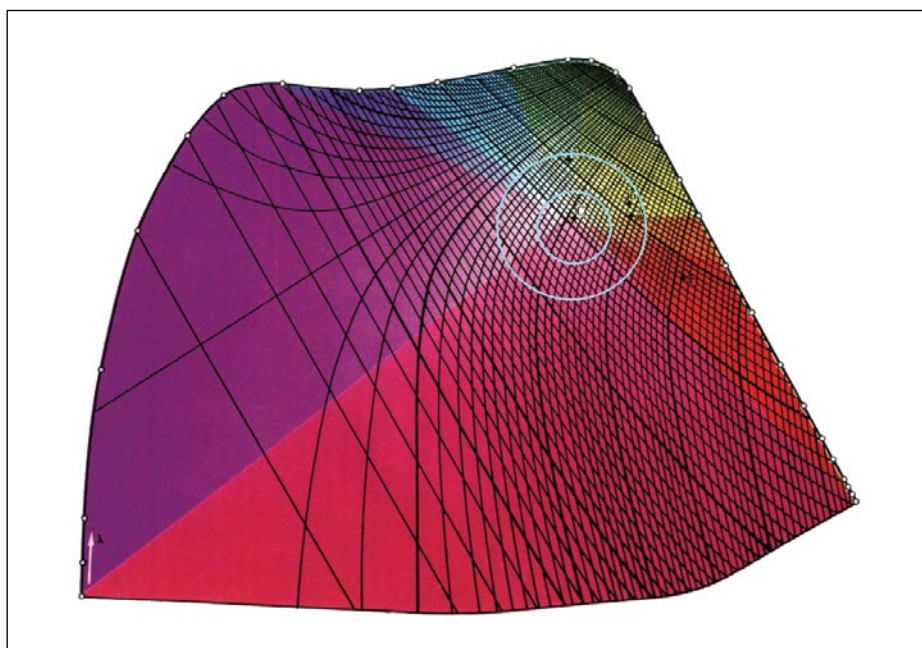


Рис. 4. Область цветов с рекомендуемыми значениями контраста по цветности $K_{ц}$ на равноконтрастной диаграмме цветности А.Б. Матвеева

дов на научно-технической конференции «Молодые светотехники России», М.: Вигма, 2009. — С. 86–88.

5. *Атаев А.Е., Бынина М.В., Снетков В.Ю.* Определение визуальных параметров индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. — 2012. — № 2. — С. 122–125.

6. *Григорьев А.А., Бынина М.В., Снетков В.Ю.* Определение оптимального диапазона контраста знака с фоном индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. — 2012. — № 5. — С. 92–94.

7. *Архангельский В.Д., Снетков В.Ю.* Исследование влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека с учетом его циркадных ритмов // Вестник МЭИ. — 2012. — № 6. — С. 219–224.

8. ГОСТ 26320–84 «Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений».

9. Физиология человека. Под редакцией В.М. Покровского и Г.Ф. Коротко — М.: Медицина, 2001. — С. 656.

10. *Николова Г.А.* Цветовое оформление учебных материалов и его влияние на восприятие информации // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Серия: Информационные компьютерные технологии в образовании. — 2006. — № 2. — С. 77–83.



Кудрякова Софья Михайловна,
магистр техники и технологии по направлению «Электроника и микроэлектроника» и программе «Теоретическая

и прикладная светотехника». Окончила в 2015 г. ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» (специальность «Светотехника и источники света»). Младший инженер по световому оборудованию компании Artemide Agency (ООО), Москва



Снетков Владимир Юрьевич,
кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1974 г. МЭИ (специальность «Светотехника и источники

света»). Доцент кафедры «Светотехника» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

«Русский день» на выставке «light + building» во Франкфурте

16 марта на выставке «light + building» во Франкфурте состоялось мероприятие «Information Event Russia» – «Русский день», организованное Российским представительством компании *Messe Frankfurt*.



Мероприятие было посвящено текущей ситуации и перспективам развития российского рынка светотехнических, электротехнических изделий и автоматизации. Среди выступающих были как ведущие российские эксперты в области светотехники, так и представители иностранных компаний, имеющих свой опыт работы на российском рынке.

Так, Анна Шахпарунянц, генеральный директор ООО «ВНИСИ», выступила с докладом о технических аспектах практики энергосервисных

контрактов в области наружного освещения в России, а генеральный директор «Лайтинг Бизнес Консалтинг» Сергей Боровков рассказал о текущем состоянии светотехнической отрасли российского рынка и его перспективах на ближайшие 4 года.

Во второй половине дня на стенде «boos» состоялся приём в честь вывода на мировой светотехнический рынок новой торговой марки «boos» компании *BL Group Europe GmbH*.

www.bl-g.ru
17.03.2016



Моделирование в «MATLAB» общего внутреннего освещения с использованием IES-файлов светильников¹

П. МАНДАЛ, Б. РОЙ

Электротехнический факультет Джадавпурского университета, Колката, Индия
E-mail: broy@ee.jdvu.ac.in

Аннотация

Статья посвящена расчёту в среде «MATLAB» параметров установки общего внутреннего освещения. Распределение силы света светильника, известное как IES-файл, извлекается самой разработанной авторами программой в «MATLAB» и используется при последующих светотехнических расчётах. Приведены все этапы этих расчётов и алгоритмы этой программы. Результаты этих расчётов сравниваются с полученными посредством программы «DIALux».

Ключевые слова: светотехнические расчёты, моделирование в «MATLAB», внутреннее освещение.

1. Введение

Данная работа посвящена моделированию общего внутреннего освещения в части определения численных значений параметров и графического представления результатов расчётов в среде «MATLAB». В разработанной программе рассматриваются четыре параметра: а) средняя нормированная освещённость на горизонтальной рабочей поверхности (РП); б) коэффициент равномерности освещённости; в) обобщённый показатель блёскости UGR; г) удельная установленная мощность осветительной установки (ОУ) LPD.

При раздельном вычислении прямой и отражённой составляющих освещённости на РП с целью получения распределения освещённости используют теорию светового поля и другие фундаментальные законы светотехники. Для расчёта UGR при разных положениях наблюдателя и разных линиях наблюдения используют рекомендации МКО.

Особенностями данной работы являются:

1. Включение электронного файла фотометрических характеристик светильника (IES-файла) в разрабатываемую программу в «MATLAB» и извлечение из него требующихся для проведения расчётов данных.

2. Раздельный расчёт прямой и отражённой составляющих освещённости на РП.

3. Модульная организация расчётов проектных параметров с соответствующими алгоритмами и теоретическим обоснованием.

Такой подход к моделированию в «MATLAB» облегчает разработку специальных программ с использованием существующих библиотечных функций и инструментов «MATLAB» для анализа и оптимизации данных. Эта возможность не предусмотрена существующими программами проектирования освещения, такими как «DIALux», «RELUX» или «AGi32».

2. Схема общего внутреннего освещения

Цель общего внутреннего освещения – обеспечение равномерной освещённости на всей РП. Светильники располагаются по матричной схеме, что очень удобно при освещении больших офисов, так как все рабочие места при этом освещаются примерно одинаково и их можно ориентировать по своему усмотрению.

2.1. Параметры

Световая среда, формируемая в рамках описанной схемы общего освещения, характеризуется ниже перечисленными параметрами. Их значения нормируются национальными и международными стандартами, обеспечивающими возможность выполнения планируемой зрительной работы.

а) *Нормированная средняя освещённость на горизонтальной РП E_{cp}*

Этот параметр характеризует количество света, попадающего на все точки рабочей поверхности во всём освещаемом помещении. У новой ОУ связь между нормированным и начальным значениями средней освещённости описывается показателем, известным как коэффициент эксплуатации M.F.:

$$M.F. = \frac{\text{Нормированная средняя освещённость}}{\text{Начальная средняя освещённость}}$$

б) *Коэффициенты равномерности освещённости U_1 и U_2*

Эти параметры характеризуют равномерность распределения освещённости по всей РП и представляют собой отношение минимальной освещённости к средней (U_1) или отношение минимальной освещённости к максимальной (U_2) соответственно. Обычно считают, что общую равномерность освещённости характеризует U_1 .

в) *UGR*

UGR представляет собой показатель качества ОУ внутреннего освещения. Он характеризует зрительный дискомфорт, испытываемый наблюдателями при выполнении ими зрительных задач. На практике значения UGR лежат в пределах от 10 до 30. Чем выше UGR, тем больше для наблюдателя дискомфортная блёскость. Считается, что при UGR < 10 дискомфортная блёскость отсутствует.

г) *LPD*

Этот параметр характеризует установленную мощность ОУ, приходящуюся на единицу площади РП, и считается показателем энергоэффективности ОУ. Есть два способа определения LPD: как отношение установленной мощности ОУ к площади РП или как отношение установленной мощности ОУ к площади РП и 100 лк. Второй вариант более информативен, так как он позволяет определять значение LPD на 100 лк средней освещённости РП.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

3. Включение IES-файлов в «MATLAB»

IЕС-файлы – это файлы стандартного формата для электронного представления фотометрических данных. Они были предложены в 1986 г. (IESNA LM-63–1986) и применяются большинством производителей светильников для формирования базы данных о светильниках. Кроме того, хорошо известные программы для расчёта ОУ, такие как «DIALux» и «AGi32», совместимы с форматами IЕС-файлов. В данной работе использовался формат IЕС-файлов согласно IESNA LM-63–2002 [1]. Производители светильников предоставляют информацию о них в виде IЕС-файлов. Пример описания IЕС-файла приведён в Приложении 1². Для включения IЕС-файлов в программу «MATLAB» разработана специальная программа, позволяющая переносить в «MATLAB» данные из нужного IЕС-файла. При этом разработан алгоритм извлечения данных о светильнике из IЕС-файла².

4. Методика расчётов

В этом разделе приведены теоретические основы проведения расчётов.

4.1. Освещённости в конкретных точках

В случае внутреннего освещения полная освещённость в точке состоит из двух частей:

1. Прямая составляющая освещённости. – Вклад в освещённость прямого излучения всех источников света ОУ.

2. Отражённая составляющая освещённости. – Вклад в освещённость излучения, отражаемого внутри помещения.

На РП накладывается сетка, в узлах которой рассчитываются значения полной освещённости.

Прямая составляющая освещённости. Для расчёта прямой составляющей освещённости требуется наличие следующих данных: 1) распределение силы света (светораспределение) светильника; 2) местоположение светильника; 3) места расположения узлов сетки; 4) размеры светового отверстия (СО).

Распределение силы света светильника $I_{C, \gamma}$ предоставляется производителем в виде IЕС-файла, содержащего значения силы света светильника в системе координат (C, γ) .

Расчёт горизонтальной освещённости E_D^i в i -м узле сетки осуществляется по закону обратных квадратов [4, 5]:

$$E_D^i = \frac{I_{C, \gamma_i} \cdot (\cos \gamma_i)^3}{h_m^2},$$

где $I_{C, \gamma}$ – сила света в направлении i -го узла сетки, C

² Приложение I и алгоритмы приведены в полной версии статьи: Mandal, P., Roy, B. MATLAB Simulation of Indoor General Lighting with Luminaire IES file // Light & Engineering. – 2016. – No. 2.

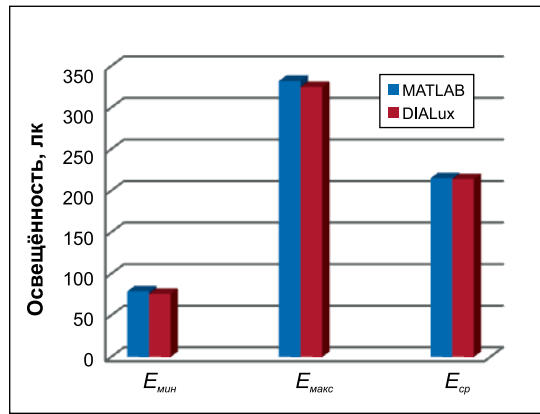


Рис. 1. Рассчитанные для смоделированного помещения значения прямой составляющей освещённости в узлах сетки

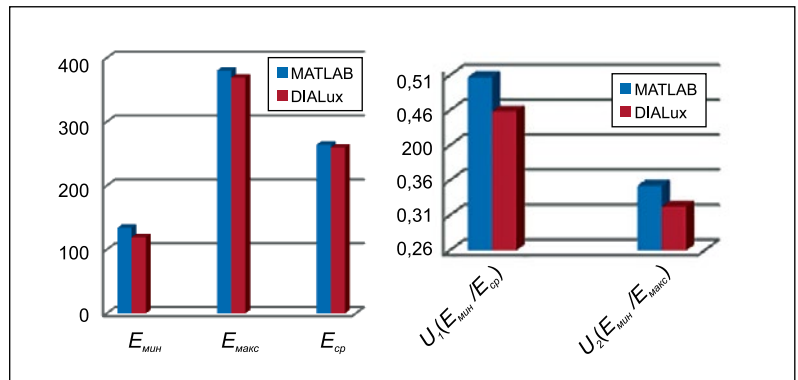


Рис. 2. Рассчитанные для смоделированного помещения значения полной освещённости и коэффициентов равномерности освещённости в узлах сетки

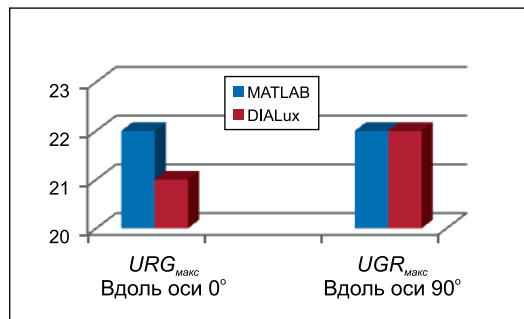


Рис. 3. Рассчитанные для смоделированного помещения значения объединённого показателя блёскости в узлах сетки

и γ – углы, определяющие это направление, h_m – высота установки светильника.

Этот закон применим, если расстояние между узлом сетки и источником света (ИС) по меньшей мере в пять раз больше размера этого ИС. При этом условии светильник с конечной площадью СО считается точечным. В большинстве ОУ для общего внутреннего освещения это условие не выполняется. В этом случае плоскость СО светильника разбивается на совокупность небольших элементарных ИС. Размеры этих ИС выбираются так, чтобы удовлетворялось приведённое выше требование. Светораспределение каждого из этих элементарных ИС рассчитывается в предположении равномерности распределения яркости по СО светильника [4].

Если всё СО площадью A_S разделить на m участков площадью dA_S каждый, то освещённость в i -м узле сетки от j -го элементарного ИС выражается как

$$dE_D^i = \frac{dI_{C_{ij}, \gamma_{ij}} \cdot (\cos \gamma_{ij})^3}{h_m^2},$$

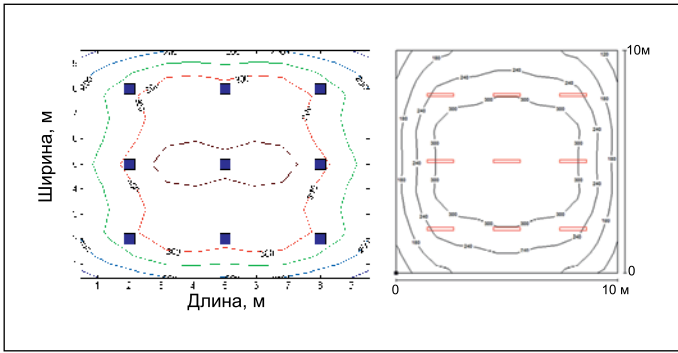


Рис. 4. Изолюксы, полученные в «MATLAB» (а) и «DIALux» (б). Синие квадраты отмечают положение светильников без учёта их реальных размеров

причём для СО с равномерным распределением яркости $dI_{C,\gamma} = K \cdot I_{C,\gamma}$, $K = dA_S/A_S$.

Полная прямая составляющая освещённости в i -м узле сетки от всех m элементарных ИС

$$E_D^i = \sum_{j=1}^m dE_D^i. \quad (1)$$

При наличии нескольких светильников вклад каждого из них рассчитывается по формуле (1) с последующим суммированием полученных результатов.

Отражённая составляющая освещённости. Эта составляющая зависит от формы помещения и коэффициентов отражения поверхностей помещения, светораспределения светильника и расположения узла сетки. Отражённая составляющая освещённости в i -м узле сетки E_R^i описывается выражением [2, 4]:

$$E_R^i = \frac{(\text{Полный световой поток ламп на один светильник}) \cdot RRC}{\text{Площадь РП на один светильник}},$$

где $RRC = WEC + RPM \cdot (CCEC - WEC)$, RRC – коэффициент использования светового потока, обусловленный отражением, WEC – коэффициент светимости стен (*Wall Exitance Coefficient*), RPM – множитель, определяемый геометрией помещения (*Room Position Multiplier*), $CCEC$ – коэффициент светимости полости потолка (*Ceiling Cavity Exitance Coefficient*). Полный световой поток ламп на один светильник определяется посредством умножения количества ламп в светильнике n на световой поток одной лампы θ_i (эти данные содержатся в *IES*-файле светильника), а площадь РП на один светильник – результат деления полной площади РП на количество светильников N , которое обычно определяют на начальной стадии проектирования.

Для расчёта RPM требуется знание значений WEC и $CCEC$, которые зависят от: 1) доли прямого света (DG); 2) доли светового потока в нижнюю полусферу ($DLOR$); 3) доли светового потока в верхнюю полусферу ($ULOR$); 4) индекса помещения (G); 5) коэффициента отражения стен помещения (ρ_1); 6) коэффициентов отражения полостей потолка и пола (ρ_2, ρ_3); 7) долей светового потока светильников, попадающих на стены, потолок и пол (C_1, C_2, C_3).

Параметр RPM указывает положение узла сетки на РП, которое обозначают индексом, состоящим из двух цифр. Этот индекс получают при нанесении на РП сетки с площадью ячейки (10% от длины помещения) \times (10% от ширины помещения).

Значение RPM для конкретного узла сетки получают согласно [3] для соответствующих индекса положения узла и индекса помещения.

Общая освещённость в i -м узле сетки

$$E_T^i = E_D^i + E_R^i.$$

Расчёт E_{cp} , U_1 , U_2 и LPD . Начальная средняя освещённости на РП при n узлах сетки рассчитывается как

$$E_{cp.нач.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_T^i,$$

а нормированная средняя освещённости – как

$$E_{cp.} = E_{cp.нач.} \cdot M.F.$$

Коэффициенты U_1 и U_2 рассчитываются как

$$U_1 = E_{мин}/E_{cp} \text{ и } U_2 = E_{макс}/E_{cp},$$

где $E_{мин}$ и $E_{макс}$ – нормированные максимальная и минимальная освещённости в узлах сетки на РП.

4.2. LPD

Этот параметр рассчитывается по формуле

$$LPD = \frac{\text{Количество светильников} \times \text{Входная мощность светильника}}{\text{Площадь рабочей поверхности}} [\text{Вт}/\text{м}^2]$$

ИЛИ

$$LPD = \frac{\text{Количество светильников} \times \text{Входная мощность светильника}}{\text{Площадь рабочей поверхности} \times 100} [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}/100 \text{ лк}]$$

Входная мощность светильника берётся из *IES*-файла светильника.

4.3. UGR

Значения UGR в узлах сетки рассчитываются с учётом положения глаз наблюдателя и его линии зрения и зависят от: 1) яркости фона L_b , кд/м²; 2) яркости светящейся части каждого из светильников в направлении глаз наблюдателя L , кд/м²; 3) телесного угла с вершиной в точке расположения глаз наблюдателя, стягиваемого светящейся частью каждого из светильников ω , ср; 4) положение светильника по отношению к линии зрения, выражаемое для каждого из светильников при помощи соответствующего индекса позиции (по Гуту) p . Первые два параметра – светотехнические, а два остальные – геометрические.

Рассчитанные для смоделированного помещения значения отражённой составляющей освещённости в узлах сетки, лк

9,545	56	55	54	54	53	53	53	54	54	55	56
8,636	55	54	53	52	52	51	52	52	53	54	55
7,727	54	53	51	51	50	49	50	51	51	53	54
6,818	54	52	51	50	49	49	49	50	51	52	54
5,909	53	52	50	49	49	48	49	49	50	52	53
5	53	51	49	49	48	48	48	49	49	51	53
4,091	53	52	50	49	49	48	49	49	50	52	53
3,182	54	52	51	50	49	49	49	50	51	52	54
2,273	54	53	51	51	50	49	50	51	51	53	54
1,364	55	54	53	52	52	51	52	52	53	54	55
0,455	56	55	54	54	53	53	53	54	54	55	56
м	0,455	1,364	2,273	3,182	4,091	5	5,909	6,818	7,727	8,636	9,545

UGR рассчитывается по формуле [3]

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[\frac{0,25 \sum_{k=1}^N L^2 \omega}{L_b \sum_{k=1}^N p^2} \right].$$

L_b рассчитывается в предположении, что все поверхности помещения свет отражают диффузно:

$$L_b = \frac{\text{Средняя светимость стен}}{\pi},$$

$$\text{Средняя светимость стен} = \frac{(\text{Полный световой поток ламп на один светильник}) \cdot WRRC}{\text{Площадь РП на один светильник}}$$

где $WRRC$ – коэффициент отражённого излучения стен (*Wall Reflected Radiation Coefficient*), $WRRC = WEC - WDRC$, а $WDRC$ – коэффициент прямого излучения стен (*Wall Direct Radiation Coefficient*).

Теперь для всех светильников ОУ, находящихся в пределах поля зрения наблюдателя, можно определить значения L , ω и p :

$$L = \frac{I_{c,\gamma}}{A_s \cos \gamma},$$

где $I_{c,\gamma}$ – сила света в направлении глаз наблюдателя, A_s – площадь СО светильника;

$$\omega = \frac{A_s \cos \gamma}{d^2},$$

где d – расстояние между источником света и глазами наблюдателя;

p определяется по таблице индексов позиции [3].

Значения p приводятся в функции отношений H/R и T/R , где H , R и T – проекции линии между ИС и глазами наблюдателя на оси соответствующей системы координат (см. Приложение II). Для получения точных значений p , соответствующих конкретным положениям глаз и ИС, следует пользоваться интерполяцией.

5. Алгоритмы расчёта параметров (см. сноску на с. 53).

6. Результаты расчётов и их сравнение

С помощью разработанной авторами программы в «*MATLAB*» были рассчитаны характеристики внутреннего освещения при следующих значениях входных параметров:

- Размеры помещения, м: длина – 10, ширина – 10, высота – 3,5.
- Коэффициенты отражения поверхностей, %: потолок – 80, стены – 50, пол – 20.
- Высота РП: 0,76 м от уровня пола.
- $M.F.$: 0,8.
- Светильник: «*Mirroroptic*», люминесцентные лампы (*TLD*) 2×36 Вт, электронный ПРА.

Полученные в «*MATLAB*» и «*DIALux*» графические представления результатов расчётов освещённости, привязанные к узлам сетки, приведены на рис. 1–3, а на рис. 4 представлено распределение полной освещённости (изолуксы). Рассчитанные в «*MATLAB*» значения отражённой составляющей освещённости в узлах сетки, приведены в таблице (в «*DIALux*» расчёт этой составляющей не предусмотрен).

Рассчитанные в «*MATLAB*» значения LPD составили $6,66 \text{ Вт/м}^2$ и $2,50 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}/100 \text{ лк}$ (площадь пола 100 м^2) при $E_{cp} = 267 \text{ лк}$, а в «*DIALux*» – $6,66 \text{ Вт/м}^2$ и $2,57 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}/100 \text{ лк}$ (площадь пола 100 м^2) при $E_{cp} = 260 \text{ лк}$.

Авторская программа в «*MATLAB*» позволяет строить трёхмерное изображение распределения освещённости по РП (рис. 5), а в «*DIALux*» построение трёхмерных изображений не предусмотрено.

Было проведено сравнение рассчитанных в «*MATLAB*» значений проектных параметров с результатами расчётов в «*DIALux*». Результаты этого сравнения приведены на рис. 6.

Максимальное расхождение результатов расчётов минимальной прямой составляющей освещённости соста-

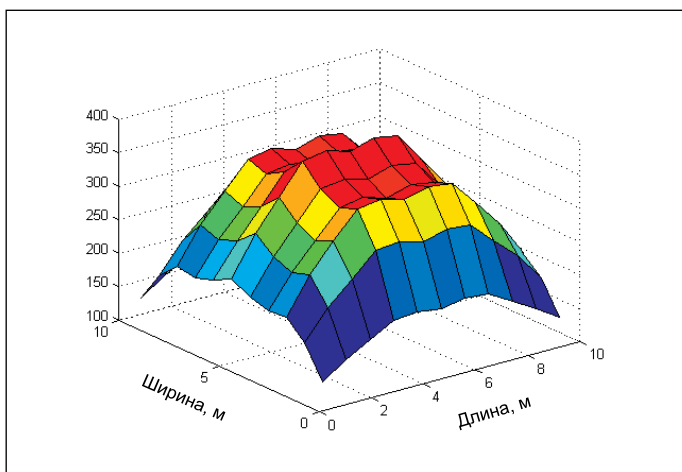


Рис. 5. Трёхмерное изображение распределения полной нормированной освещённости

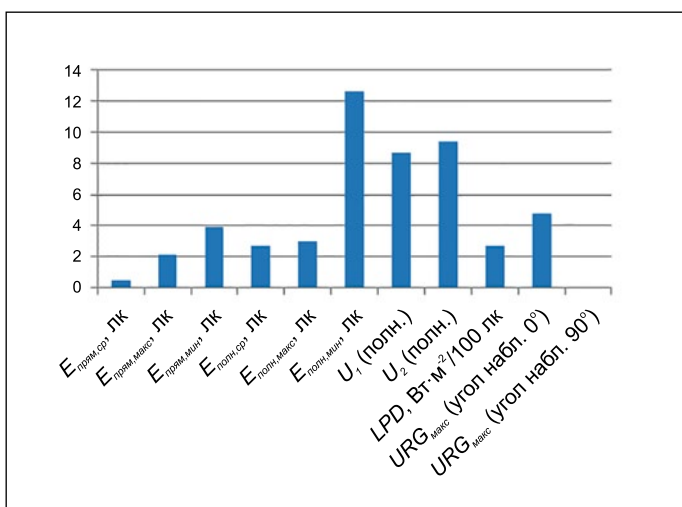


Рис. 6. Расхождение проектных значений параметров, %

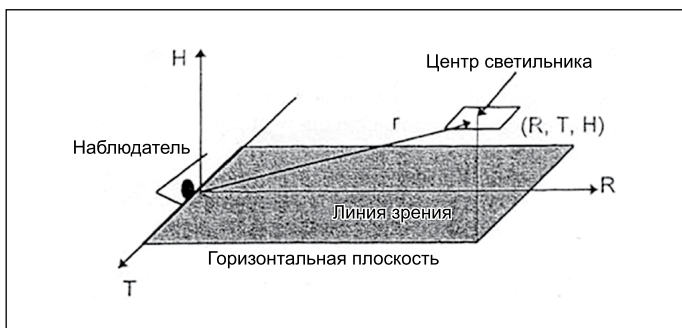


Рис. 7. Система координат для определения индекса позиции [3]

вило 4%, а полной освещённости – 12%. Это различие связано с различиями результатов расчётов отражённой составляющей освещённости. Сравнение значений последней, полученных в «MATLAB», с результатами аналогичных расчётов в «DIALux» невозможно, так как данные об отражённой составляющей в «DIALux» не представляются. Расхождения в результатах расчётов U_1 и U_2 оказались несколько большими (примерно 9%) из-за различий в результатах расчётов минимальной освещённости. Расхождения в значениях $E_{\text{ср}}$, $E_{\text{мин}}$, LPD и $UGR_{\text{макс}}$ не превышали 5%.

7. Выводы

Разработанная авторами программа в среде «MATLAB» позволяет рассчитывать такие параметры внутреннего освещения, как прямая и отражённая составляющие освещённости в узлах сетки на РП, а также яркости светильников и фона в направлении наблюдателя, используя для этого предоставляемые производителями IES-файлы светильников. Кроме того, на основе этих данных можно рассчитывать такие проектные параметры ОУ, как средняя освещённость, коэффициент равномерности освещённости и обобщённый показатель блёскоты. Результаты этих расчётов в «MATLAB» хорошо согласуются с полученными в «DIALux». Разработанная авторами программа может быть использована как один из инструментов «MATLAB» для расчётов параметров и оптимизации ОУ.

Приложение I (см. сноску на с. 53).

Приложение II

Центр системы координат (R , T , H) располагается в точке нахождения глаз наблюдателя. Отношения H/R и T/R соответствуют центру светильника (рис. 7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ANSI/IESNA LM-63–02 «Standard File Format for the Electronic Transfer of Photometric Data», 2002.
- Lindsey, J.L. Applied Illumination Engineering, 2nd Ed. – The Fairmont Press, Inc., 1997. – P. 215–236.
- CIE117 «Discomfort Glare in Interior Lighting», 1995. – P. 1–7.
- IES Lighting Handbook, Reference Volume, 1984. – P. 9–52–9–73.
- Coaton, J.R., Marsden, A.M. Lamps and Lighting, 4th Ed. – Arnold, 1997. – P. 301–317.
- IS-3646 (Part 1) «Code of practice for Interior Illumination», 1992.



Пурнима Мандал (Purnima Mandal), М.Е. (2007 г.). Научный сотрудник светотехнической лаборатории электротехнического факультета Джадавпурского университета



Бисванат Роу (Biswanath Roy), Ph.D. (1999 г.). Профессор электротехнического факультета Джадавпурского университета. Пожизненный действительный член Индийского общества инженеров-светотехников, пожизненный член Общества инженеров (Индия) и член Светотехнического общества Северной Америки

Новые мощные ультрафиолетовые и фиолетовые излучающие диоды

Л. М. КОГАН, А. А. КОЛЕСНИКОВ, А. Н. ТУРКИН

ООО «НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ», Москва; ОАО «ОПТРОН», Москва; ФГБОУ ВПО «МГУ им. М.В. Ломоносова», Москва
E-mail: levkogan@mail.ru

Аннотация

Сообщается о разработке новых мощных УФ излучающих диодов (УФИД) с пиковой длиной волны излучения $\lambda_{max} = 360\text{--}390$ нм, потоком излучения 0,6–1,5 Вт и осевой силой излучения до 9,5 Вт/ср, а также новых мощных фиолетовых излучающих диодов (ФИД) с $\lambda_{max} = 390\text{--}410$ нм, потоком излучения до 2,7 Вт и осевой силой излучения до 12 Вт/ср. Приборы изготавливаются с углами излучения $2\theta_{0,5} = (60 \pm 3)^\circ$ и $(11 \pm 1)^\circ$.

Ключевые слова: УФ излучающий диод, фиолетовый излучающий диод, спектр излучения, поток излучения, сила излучения, угол излучения, длина волны.

Введение

УФИД и ФИД применяются в очищении воздуха, дефектоскопии металлов, отверждении клеев,

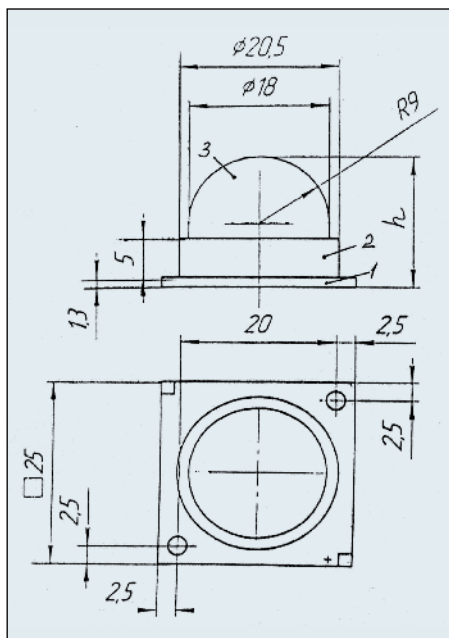


Рис. 1. Конструкция УФ и фиолетовых излучающих диодов:
1 – печатная плата, 2 – отражатель, 3 – полимерная линза

медицине, обеззараживании помещений и воды, проверке подлинности документов и денежных купюр, фотолитографии и ряде других областей. Объем этих применений может быть расширен путём повышения, в частности, потока излучения Φ_e и осевой силы излучения I_e УФИД и ФИД.

Излучающий кристалл и конструкция диодов

Использовались кристаллы фирмы *SemiLEDs* типов *EV-D80T-U* и *EV-U80T-U* с размерами $2,09 \times 2,09$ мм (размеры *p-n*-гетероперехода – $1,93 \times 1,93$ мм), выполненные на основе *p-n*-гетероструктуры

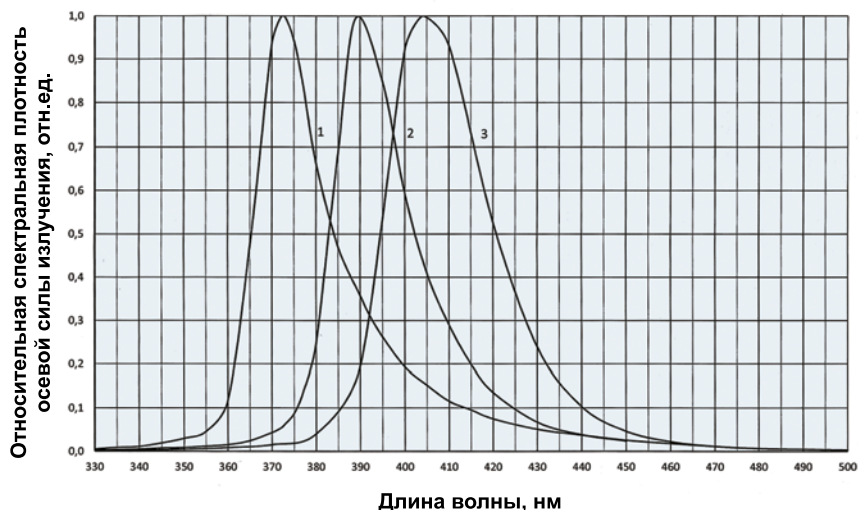


Рис. 2. Типичные относительные спектры излучения УФ (1, 2) и фиолетовых (3) излучающих диодов

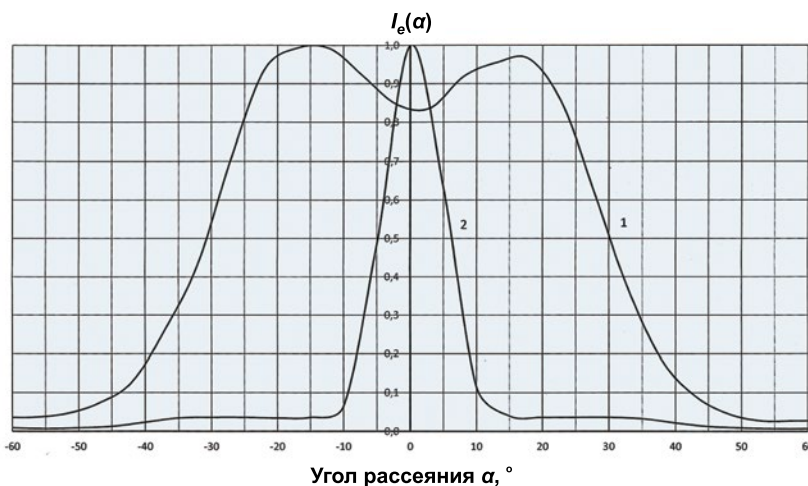


Рис. 3. Типичные индикатрисы излучения УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$ (1) и 11° (2)

в системе $InGaAlN^1$. Кристалл монтировался на специальную печатную плату на медной основе, на которую устанавливался керамический отражатель бокового излучения кристалла, а затем создавалась прозрачная полимерная линза диаметром 18 мм с относительным показателем преломления 1,56 с полусферическим куполом (рис. 1). Высота прибора h составляла максимум 17 мм (для обеспечения угла излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$) или 22 мм ($2\theta_{0,5} \approx 11^\circ$). Электрическая цепь диода изолирована от корпуса. Тепловое сопротивление между $p-n$ -переходом и корпусом составляло $5-7^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Диод исследовался с использованием радиатора.

Методики и результаты измерений

Измерение пространственного распределения I_e УФИД и ФИД проводилось в системе фотометрирования (C, γ) на гониофотометре, включающем поворотный механизм и фотодиод ФД-288 с калиброванной диафрагмой диаметром 6 мм. Расстояние от диода до фотоприёмника – 4,0 м. Спектральная чувствительность фотодиода ФД-288 в диапазоне длин волн (225–455) нм определялась с погрешностью не более 3,5% (поверка ФГУП «ВНИИОФИ»).

По измеренным значениям I_e проводился расчёт Φ_e УФИД и ФИД при значениях зональных телесных углов, соответствующих зонам угла шириной 5° (по ГОСТ 17677–82, приложение 6). При этом расчёт I_e проводился по измеренным значениям фототока фотодиода, работающего в режиме короткого замыкания, с учётом спектра излучения УФИД и ФИД, измеренного на двойном монохроматоре МДР-2 с использованием светоизмерительной лампы СИРШ6–100, аттестованной по спектральной плотности энергетической яркости в ФГУП «ВНИИОФИ».

Типичные спектры излучения УФИД, с $\lambda_{max} = 360-390$ нм, и ФИД,

¹ Гетероструктура, вертикального типа, имеет: многослойную квантовую яму; светоотражающий слой на границе с подложкой; диффузно-рассеивающую световыводящую поверхность; подложку из медного сплава с высокой теплопроводностью. Обеспечивает высокую эффективность генерации и вывода излучения.

Рис. 4. Типичные зависимости потока излучения Φ_e от прямого тока I_f для УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} \approx 60^\circ$ и $\lambda_{max} = 360-380$ нм (1), $380-390$ нм (2) и $390-410$ нм (3) соответственно

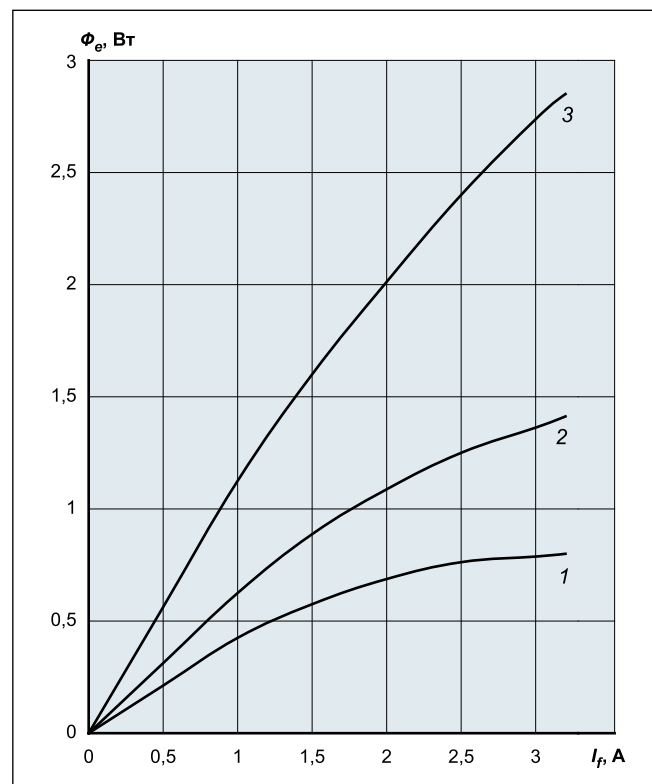
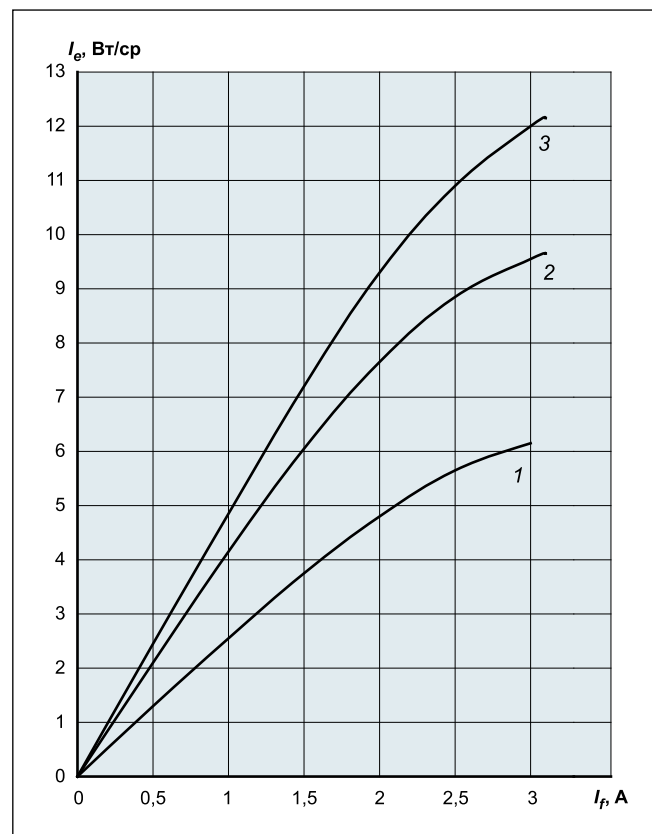


Рис. 5. Типичные зависимости осевой силы излучения I_e от прямого тока I_f для УФ и фиолетовых излучающих диодов с углом излучения $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ и $\lambda_{max} = 360-380$ нм (1), $380-390$ нм (2) и $390-410$ нм (3) соответственно



с $\lambda_{max} 390-410$ нм, приведены на рис. 2. Полуширина полосы излучения УФИД и ФИД – (20 ± 1) нм и (26 ± 1) нм соответственно.

Типичные индикатрисы излучения УФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} \approx (60 \pm 3)^\circ$

и $(11 \pm 1)^\circ$ приведены на рис. 3, а типичные зависимости Φ_e от I_f для УФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ – на рис. 4.

Как видим, Φ_e УФИД достигает 0,7 Вт ($\lambda_{max} = 360-380$ нм, $I_f = 2,5$ А) и 1,4 Вт ($\lambda_{max} = 380-390$ нм, $I_f = 3$ А).

Фотометрические и электрические параметры УФ излучающих диодов при температуре $p-n$ -перехода $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

Тип	I_f , А	U_f , В, не более	λ_{max} , нм	$2\theta_{0,5}$, °	Φ_e , Вт		I_e , Вт/ср	
					не менее	тип. знач.	не менее	тип. знач.
У-124УФД-370-1 У-124УФД-385-1	2,5 3,0	4,0	360–380 380–390	60 ± 3	0,6 1,3	0,7 1,4	0,5 1,0	1,0 1,5
У-124УФД-370-2 У-124УФД-385-2	2,5 3,0	4,0	360–380 380–390	11 ± 1	0,15 0,6	0,2 0,7	5,0 9,0	5,5 9,5

Таблица 2.

Фотометрические и электрические параметры фиолетовых излучающих диодов при температуре $p-n$ -перехода $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

Тип	I_f , А	U_f , В, не более	λ_{max} , нм	$2\theta_{0,5}$, °	Φ_e , Вт		I_e , Вт/ср	
					не менее	тип. знач.	не менее	тип. знач.
У-124ФД-400-1 У-124ФД-400-2	3,0 3,0	4,0 4,0	390–410 390–410	60 ± 3 11 ± 1	2,5 1,0	2,7 1,5	2,0 11,0	2,5 12,0

При этом внешний квантовый выход излучения $\eta_{\text{вн}}$, соответственно, равен 9 и 18% при $I_f = 2,5-3,0$ А.

Φ_e ФИД достигает 2,7 Вт ($\lambda_{\text{max}} = 390-410$ нм, $I_f = 3$ А), что соответствует $\eta_{\text{вн}} = 29\%$ при $I_f = 3,0$ А, 33% при 2 А и 36% при 1 А.

Типичные зависимости осевой I_e от I_f для УФФИД и ФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ приведены на рис. 5. Как видим, осевая I_e УФФИД достигает 5,5 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 360-380$ нм, $I_f = 2,5$ А) и 9,5 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 380-390$ нм, $I_f = 3$ А), а осевая I_e ФИД – 12 Вт/ср ($\lambda_{\text{max}} = 390-410$ нм, $I_f = 3$ А). Высокие значения осевой I_e позволяют эффективно использовать УФФИД и ФИД на удалении от освещаемого объекта.

Рассматриваемые УФФИД и ФИД могут эффективно использоваться в импульсном электрическом режиме при импульсном I_f до 10 А и среднем I_f до 1 А. При этом Φ_e и I_e в импульсе возрастают примерно втрое. Φ_e УФФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ в импульсе достигает 3–4 Вт, а осевая I_e УФФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ – (15–25) Вт/ср. Φ_e ФИД с $2\theta_{0,5} = 60^\circ$ в импульсе достигает 7,5 Вт, а осевая I_e ФИД с $2\theta_{0,5} = 11^\circ$ – 35 Вт/ср.

Параметры разработанных УФФИД и ФИД приведены в табл. 1 и 2, из которых следует, что Φ_e и I_e растут с увеличением λ_{max} в рассматриваемых спектральных диапазонах (но и

при меньших λ_{max} (360–370 нм) параметры эти достаточно высоки).

Быстродействие УФФИД и ФИД характеризуется временем нарастания и спада импульса излучения по уровням 0,1–0,9: в диапазоне 20–30 нс.

Таким образом, показана возможность получения высоких значений Φ_e (до 2,7 Вт) и I_e (до 12 Вт/ср) УФФИД и ФИД².

Авторы благодарят И.Т. Рассохина и А.Л. Гофштейн-Гардта за помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальчина Н.А., Коган Л.М., Колесников А.А., Портнягин Ю.А. Мощные ультрафиолетовые излучающие диоды // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 35–37.
2. Туркин А. Новые продукты в линейке светодиодов компании *SemiLEDs* // Современная электроника. – 2015. – № 4. – С. 2–5.
3. Коган Л., Гальчина Н., Гофштейн-Гардт А., Колесников А. Излучающие диоды инфракрасного диапазона // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 5. – С. 48–49.

² Ранее [3] для ИК излучающих диодов с $\lambda_{\text{max}} = (850 \pm 20)$ нм были получены Φ_e до 3,3 Вт и осевая I_e до 8,5 Вт/ср.



**Коган Лев
Моисеевич,**
доктор техн. наук.
Окончил в 1956 г.
МЭИ. Научный
руководитель ООО
«НПЦ ОЭП «ОПТЭЛ»



**Колесников
Александр
Алексеевич,**
инженер-физик.
Окончил в 1971 г.
МИФИ. Главный
метролог и
начальник отдела
ОАО «Оптрон»



**Туркин Андрей
Николаевич,**
кандидат физ.-мат.
наук. Окончил
в 1995 г. физический
факультет МГУ
им. М.В. Ломоносова.
Старший
преподаватель
кафедры

полупроводников физического факультета
ФГБОУ ВПО «МГУ им. М.В. Ломоносова»

Светодиодный 3D-дисплей с электромеханической развёрткой изображения¹

А. В. КЛЮЕВ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород
E-mail: klyuev@rf.unn.ru

Аннотация

Предложен метод получения трёхмерного изображения для использования в световой рекламе и декоративном освещении, создана экспериментальная установка, реализующая этот метод. Последняя представляет собой светодиодный 3D-дисплей с электромеханической развёрткой изображения. Предложено математическое описание разработанной системы трёхмерного изображения. Используется шестимерное координатное пространство, в котором первые три координаты вектора соответствуют пространственным координатам трёхмерного пространства, а последние три — составляющим цвета по трём базисным векторам (цветам) — красному, зелёному и синему.

Ключевые слова: светодиоды, микроконтроллер, трёхмерное изображение, цветовое пространство, многомерное координатное пространство.

При всём многообразии современных рекламных методов и средств, световая реклама выделяется наибольшей эффективностью. Она гораздо ярче всех остальных видов рекламы и особенно привлекает к себе внимание в тёмное время суток.

Светотехнические решения такого рода рекламы разнообразны: информационные табло, буквенные обозначения или светящиеся логотипы фирм.

Световые табло хороши тем, что на них можно выводить меняющуюся во времени информацию (текст, логотипы и изображения). И наиболее эффектно выглядела бы система трёхмерного изображения такой меняющейся информации.

В последнее время получили широкое распространение и обрели большую популярность системы трёхмерного изображения с использованием специальных очков. Для воссоздания же реальной глубины и объёма без использования очков необходимо наличие некоей среды, в которой тем или иным способом возбуждаются элементы требуемых цвета и яркости. Однако среда при этом должна оставаться достаточно прозрачной для выхода света из объёма, занимаемого средой, чтобы зрители могли видеть объёмное изображение. В общем, есть некоторые сложности при переходе от двумерного дисплея к истинно трёхмерному.

При этом, если бы мы хотели изобразить плоское сечение сферы на двумерном экране, то получили бы окружность. Но восстановить в этом случае и трёхмерное изображение сферы нетрудно: так как сфера центрально симметрична, достаточно просто привести экран во вращение! Таким образом, для визуализации объёмных фигур

с центральной симметрией построение их трёхмерных изображений сводится к изображению их плоских сечений на вращающемся экране! Очевидно, для построения объёмных изображений объектов, не обладающих центральной симметрией (и меняющихся во времени), необходимо использовать микроконтроллер (микропроцессор), управляющий включением и выключением светодиодов в определённых положениях вращающегося экрана. Соответственно, появляется возможность получать объёмные изображения объектов со сложной топологией поверхности (меняющейся во времени).

Упрощённая схема объёмного 3D-дисплея приведена на рис. 1. Подобная идея ранее предложена в Технологическом институте Канадзавы (Япония) при разработке трёхмерного светодиодного экрана для рекламных устройств [1].

Для наиболее адекватного описания системы трёхмерного изображения удобно шестимерное пространство, в котором первые три координаты вектора соответствуют координатам трёхмерного пространства, а последние три — составляющим цвета по трём базисным векторам (цветам) — R (красный), G (зелёный), B (синий).

Координатное подпространство наиболее удобно анализировать в криволинейных координатах (цилиндрических). Посредством цилиндрической системы координат (в которой ρ — полярный луч, φ — полярный угол, z — координата декартовой системы координат) можно задавать положение элемента (модуля) из нескольких светодиодов базовых цветов, расположенного на вращающейся плоскости (рис. 1.). Таким образом, построенное шестимерное пространство, вообще говоря, криволинейно, и встаёт вопрос о метрике этого пространства и выборе базиса.

В данном случае удобны криволинейные координаты в следующем виде: $q_1 = \rho$, $q_2 = \varphi$, $q_3 = z$, $q_4 = r$, $q_5 = g$, $q_6 = b$. Вычисляя коэффициенты Ламе $H_i(q_1, \dots, q_6)$, где $i = 1, \dots, 6$, как

$$H_i = \sqrt{\left(\frac{\partial(\rho \cos \phi)}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial(\rho \sin \phi)}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial q_i}\right)^2}$$

метрику в нашей ортогональной системе координат можно записать как

$$ds^2 = (d\rho)^2 + \rho^2 (d\phi)^2 + (dz)^2 + (dr)^2 + (dg)^2 + (db)^2.$$

Тензор метрики, записанный в координатах q_i , имеет диагональный вид, при этом на диагонали стоят квадраты коэффициентов Ламе: $G_{ii} = H_i^2$, $G_{ij} = 0$, при $i \neq j$.

¹ Краткое сообщение. Полный текст статьи депонирован в редакции.

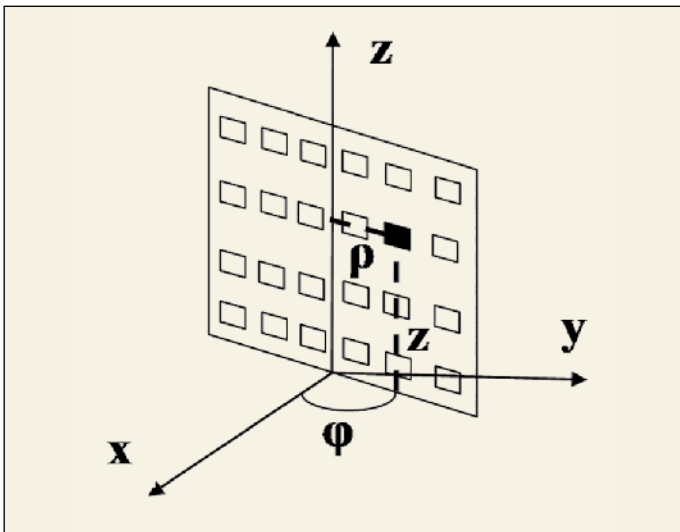


Рис. 1. Описание объёмного 3D-дисплея с помощью цилиндрической системы координат

Переходя, с помощью этого тензора, к определению базиса пространства, имеем: $e_\rho = (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $e_\phi = \left(0, \frac{1}{\rho}, 0, 0, 0, 0\right)$, $e_z = (0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $e_r = (0, 0, 0, 1, 0, 0)$, $e_g = (0, 0, 0, 0, 1, 0)$, $e_b = (0, 0, 0, 0, 0, 1)$.

Любой вектор x из построенного пространства можно разложить по выбранному базису:

$$x = x_\rho e_\rho + x_\phi e_\phi + x_z e_z + x_r e_r + x_g e_g + x_b e_b.$$

Следует отметить, что рассматриваемый базис — локальный, так как меняется при переходе от точки к точке.

На основе описанного метода создана экспериментальная установка, формирующая трёхмерное изображение в объёме. Быстро вращающаяся полоска из семи светодиодов [2–4] освещается в определенные моменты времени, от чего возникает оптический эффект объёмности изображения сферы с вращающейся вокруг неё меняющейся надписью (рис. 2).

При монтаже схемы использовались светодиоды и микроконтроллеры от производителей из КНР и электродвигатель SCARLETT SC-179.

В заключение следует отметить возможность расширения сферы применения такого рода устройств в сторону декоративных источников света, источников света для создания светодинамических эффектов при оформлении пространства во время проведения театрально-зрелищных мероприятий и т.д., поскольку они специально разработаны для того, чтобы подчеркнуть красоту объёмных форм. Устройства эти подойдут для изготовления световых надписей и логотипов любой сложности, создания объёмных изображений для витрин и помещений. Встроенный микроконтроллер позволяет придавать разнообразные светодинамические и светоанимационные эффекты различным декоративным геометрическим формам, формируемым вращающимся экраном. Использование RGB-модулей позволяет получать практически любой возможный цветовой оттенок цвета. При этом один пиксель экрана — это один модуль. Подобная гибкая система декоративного освещения призвана решать



Рис. 2. Экспериментальная установка во время работы

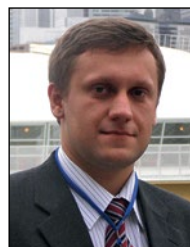
практически неограниченное количество задач, поскольку благодаря использованию светодиодов и программируемого микроконтроллера она имеет широкую цветовую палитру, многообразие формируемых объёмных изображений и стабильные световые характеристики. Соответствующие устройства могут быть неплохим украшением городских парков, площадей, отелей и офисных зданий, поскольку позволяют создавать праздничные светоанимационные эффекты.

Автор благодарит проф. А.В. Якимова, доц. А.А. Дубкова и доц. О.В. Болховскую за плодотворное обсуждение работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, код проекта — 2183, и поддержана грантом (соглашение от 27.08.2013 № 02.В.49.21.0003 между МОН РФ и ННГУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.* Международному дисплейному обществу (SID) — 50 лет! // *Электроника: наука, технология, бизнес.* — 2012. — № 6. — С. 94–100.
2. *Беляков А.В., Ключев А.В., Якимов А.В.* Проявление 1/f шума тока утечки в наноразмерных светоизлучающих структурах. // *Известия ВУЗов. Радиофизика.* — 2008. — Т. 51. — № 2. — С. 149–161.
3. *Klyuev A.V., Yakimov A.V.* 1/f noise in GaAs nanoscale light-emitting structures // *Physica B.* — 2014. — Vol. 440. — P. 145–151. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2014.01.021> (дата обращения: 21.11.2015).
4. *Шуберт Ф.Е.* Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. — 2-е изд. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 496 с.



Ключев Алексей Викторович, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 2005 г. радиофизический факультет Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Доцент кафедры бионики и статистической радиофизики ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Дизайн освещения: трудности перевода и критерии оценки

Е. Е. НИЛОВ, В. Н. СТЕПАНОВ

ООО «Филипс световые решения Евразия», Москва

E-mail: vitaly.stepanov@philips.com

Лучше невежество, чем
ложные знания.
Никола Буало-Депрео

Аннотация

На основе краткого экскурса в историю развития искусственного освещения авторами показано, как формировались два разных подхода к проектированию и реализации искусственного освещения и возникала соответствующая базовая терминология. Термин «светодизайн» родился в результате неадекватной трансформации английского словосочетания «*lighting design*», но благодаря доминированию слова «дизайн», приобрёл смысл более сложный, глубокий и обязывающий, чем оригинал. Реализация заложенного в «светодизайне» смысла действительно требует создания новой школы проектирования искусственного освещения, что может привести к качественному улучшению искусственной световой среды, в которой мы живём.

Ключевые слова: освещение, проектирование, дизайн, светодизайн.

Дискуссия о создании «школы отечественного светодизайна» [1] напоминает библейскую историю о строительстве вавилонской башни. Вроде бы все говорят на одном языке, используют одни слова, но каждый вкладывает в них свой смысл, и в итоге — ощущение взаимного непонимания. (Говорил же Сократ: «Мудрость начинается с определения терминов».)

Назрела необходимость внести ясность в терминологию, которой пользуются люди, имеющие отношение к проектированию и реализации искусственного освещения. Признав при этом, что теория и практика искусственного, особенно электрического, освещения, а, следовательно, и терминология в основном формировались за рубежом, и только затем попадали на нашу почву. Поэтому ло-

гично сперва проследить эволюцию интересующих нас иностранных терминов, а затем то, как происходила их интерпретация в нашей стране.

В первой половине XX-го века локомотивом развития всех областей светотехники (источники света, световые приборы, нормирование и проектирование искусственного освещения) являлись США (при несомненном вкладе Германии и Нидерландов, с их *Osram* и *Philips* соответственно), и именно там сформировалась основная светотехническая терминология. В период, когда первостепенное значение имело создание эффективных источников света и световых приборов, использовались такие термины, как «*illumination*» («освещение») и «*engineering*» («проектирование», «техническая разработка»). Эти термины нашли отражение в имени первой профессиональной общественной организации — *Illuminating Engineering Society of the North America* (*IESNA*, Светотехническое общество Северной Америки), образованной в 1906 г., главной целью которой было широкое распространение светотехнических знаний и опыта, и в названии специализированного журнала того времени «*Illuminating Engineer*» («Светотехник»).

Использование слова «*lighting*» («освещение») стало результатом естественной тенденции американского английского языка к поиску наиболее кратких и ёмких по смыслу слов, а также отражением того, что вопросами искусственного освещения заинтересовались архитекторы, которые давно пользовались словом «*daylighting*» («естественное освещение»). Слово «*illumination*» было постепенно вытеснено из употребления. (В русском языке оно превратилось в «иллюминацию» (праздничное декоративное освещение), а затем приобрело и свойство прилагательного: «иллюминационное освещение».)

Слово «*design*» пришло в английский язык из латинского. Оно мо-

жет быть существительным и глаголом. Как существительное оно может означать замысел, намерение, проект, план, чертёж, набросок, конструкцию, а также процесс выполнения технического описания будущего объекта, т.е. проектирование, а как глагол — проектировать, конструировать, описывать и т.п.

Словосочетание «*lighting design*» — это, в первую очередь, «проектирование освещения», а, к примеру, название книги «*Lighting by Design*» [2] переводится как «Освещение по замыслу».

После второй мировой войны, после восстановления, а затем и бурного роста мировой экономики, наступил период расцвета «общества потребления». Люди перестали себя во всём ограничивать, у них появилась потребность жить удобно и красиво. Слово «*design*» стало наполняться новым содержанием. Помимо инженеров, освещением стали заниматься архитекторы и дизайнеры интерьеров. Возник журнал «*Lighting Design & Application*» («Проектирование и применение освещения»), который, будучи органом *IESNA* и отдавая приоритет техническим аспектам освещения, активно проводит идею сотрудничества светотехников и архитекторов для придания освещению эстетических качеств.

Именно архитекторы, прежде всего американцы *R. Kelly* и *W. Lam*, [2] положили начало формированию новой школы проектирования освещения. В отличие от так называемого «*quantitative lighting design*» (проектирование с целью получения заданных количественных показателей освещения) [3], развивалось проектирование освещения, ориентированного на восприятие («*perception-oriented lighting design*»), для создания такой зрительно воспринимаемой световой среды (*visual environment*), в которой одновременно решались бы задачи обеспечения видимости и ориентации, а также создавалась «атмосфера» с определёнными эстетическими свойствами. В литературе такой подход сначала назывался «*qualitative lighting design*» (проектирование с целью получения заданных качеств освещения), затем постепенно термин преобразовался в «*architectural lighting design*» (проектирование освещения, согласованного с архитектурой).

Корни рождения термина «*architectural lighting design*» ведут к 1927 г., когда основатель Светотехнического института Высшей технической школы Карлсруэ *Joachim Teichmüller* ввёл термин «*Lichtarchitektur*» («световая архитектура») — «архитектура, в которой свет понимается как строительный материал и осознанно используется в архитектурном проектировании» [3].

Новый подход к проектированию освещения оказался весьма плодотворным и завоевал много сторонников. В 2007 г. в Лондоне на съезде *Professional Lighting Design Convention (PLDC)* деятельность в области «*architectural lighting design*» получила международное признание и была учреждена соответствующая профессия.

Термин «дизайн» появился в русском языке в 1920-е, с самого начала нёс в себе эстетическую составляющую и определялся как «художественное конструирование» предметов — вещей, которыми пользуются люди. Теоретические аспекты дизайна изучались в рамках такой научно-прикладной дисциплины, как «техническая эстетика».

В 1970-е гг. в СССР была ещё одна попытка ввести в обиход термин «световая архитектура» [4] — для использования в архитектурном проектировании интерьеров, зданий и городов. Но термин не прижился.

Многие, особенно архитекторы, осознавали, что освещение (как естественное, так и искусственное) наряду с утилитарными функциями может выполнять информационные и эстетические, но вплоть до конца XX века освещение и «дизайн» в России не связывались друг с другом. Там, где было необходимо, использовали термины «прожекторное освещение», «архитектурное освещение» или «художественное освещение», а если дело касалось освещения фасадов зданий, скульптурных памятников и других объектов, употребляли термин «подсветка».

Термин «дизайн» применительно к освещению ввёл в обиход Н.И. Щепетков, написав книгу [5]. При этом смысл, на первый взгляд, несложного словосочетания «световой дизайн», неоднозначен. Дело в том, что при переносе «кальки» иностранного слова в русский язык переносится и его многозначность. Что же имеется в виду: дизайн как процесс, дизайн

как замысел или дизайн как результат? Применительно к городу, как правило, используют другие термины: «облик» («образ»), «план развития», «архитектурное проектирование», «градостроительство», «городская среда» и некоторые др. Познакомившись с книгой [5], понимаешь, что речь идёт не о проектировании городов, а об архитектурном освещении (отдельных объектов, ансамблей и городов в целом). То есть дизайн относится не к городу, а к освещению. Название книги узаконило два некорректных преобразования, связанных с особенностями русского языка: «освещение» в устной речи было сведено к «свету», а словосочетание «*lighting design*» вместо «проектирование освещения» превратилось в «световой дизайн».

Но факт остаётся фактом: словосочетание «световой дизайн» («светодизайн») было подхвачено, размножено, повсеместно распространено и в конце концов превратилось в общепотребительный термин.

Возникает закономерный вопрос: какое же освещение можно отнести к продукту светового дизайнера, а какое нет? Н.И. Щепетков трактует понятие «световой дизайн» очень широко, допуская, что точку отсчёта истории развития светодизайна можно отнести к первому опыту наружного электрического освещения в Петербурге в 1874 г. [1, с. 60]. Такая трактовка позволяет отнести к «светодизайну» практически любое освещение и допускает участие в этой деятельности всех желающих, в том числе без специальной профессиональной подготовки. Очевидно, что такая ситуация ненормальна и недопустима.

Логично считать, что к дизайну освещения применимы критерии, принятые для оценки результатов промышленного, графического и любых других видов дизайна, в частности принципы, которые сформулировал немецкий дизайнер *Dieter Rams* [6]: 1) инновационность (использование последних достижений техники); 2) польза (дизайн подчёркивает полезность изделия и «камуфлирует» всё, что может мешать такой интегральной оценке); 3) эстетичность (красота); 4) интуитивная ясность; 5) ненавязчивость (продукты дизайна не являются декоративными объектами или предметами искусства; дизайн должен быть нейтраль-

ным и сдержанным); 6) честность (дизайн не должен представлять изделие более инновационным, всемогущим или ценным, чем оно является в действительности; он не должен манипулировать ожиданиями потребителя и давать невыполнимые обещания); 7) неустареваемость или современность (дизайн не стремится быть модным, и потому никогда не кажется устаревшим); 8) продуманность до мелочей (ни одна деталь не остаётся непроработанной; внимание к мелочам выражает уважение к потребителю); 9) бережное отношение к окружающей среде (дизайн способствует сохранению природных ресурсов, минимизирует физическое и визуальное «загрязнение» окружающей среды в течение жизненного цикла продукта); 10) минимализм и простота («чем меньше, тем лучше», концентрация на существенном, избавление от лишнего, максимальное упрощение).

Применительно к наружному городскому освещению каждый из перечисленных критериев требует раскрытия. Но так как это не входит в задачи данной статьи, приведём лишь пример интерпретации одного из критериев — «польза».

Критерий «польза» может быть определён как удовлетворение нескольких групп потребностей [7]:

А. *Основные общечеловеческие потребности*: безопасное пешеходное движение; быстрая и безошибочная зрительная ориентация; ощущение личной безопасности, связанное с возможностью распознавания лиц людей с расстояния не менее 3 м; зрительный комфорт (минимально возможный уровень, а лучше полное отсутствие, ослеплённости (*glare*)); «приятность» освещения, определяемая преимущественным направлением падения света, «моделирующим» действием освещения, цветовыми цветопередающими характеристиками излучения источников света, соотношением и распределением яркости в поле зрения.

Б. *Основные социальные (общественные) потребности*: безопасное движение транспорта и безопасное взаимодействие пешеходов и транспорта; энергоэффективность освещения; надёжность работы освещения; удобство обслуживания системы освещения; «экологическая» безопасность систем освещения (минимальное «световое загрязнение среды».

Рис. 1. Три варианта портрета Мао Цзэдуна



В. Основные эстетические личные и общественные потребности: гармоничность и сбалансированность световой среды; оригинальность и своеобразие образа города (которые определяются в том числе и дизайном светильников и опор); узнаваемость (иконография) характерных видов города.

Г. Потребности в познании и развитии: интерактивность — возможность взаимодействия и изменения световой среды в соответствии с личными предпочтениями; адаптивность освещения (учёт времени суток, плотности пешеходного и транспортного движения, погодных условий и т.п.); возможность проведения исследований и получения новых знаний.

К сказанному о том, что влияет на отнесение того или иного приёма освещения к дизайну, добавим следующее.

Освещение — это результат взаимодействия света с предметной средой, воспринимаемый зрением человека. В идеальном случае создаваемые предметная среда и технические средства освещения должны быть подчинены единому замыслу. Так происходит в кино, театре, музеях, наконец при проектировании станций метро, когда придумываются и создаются декорации, долго подыскивается «натура» для съёмки, проектируются специальные конструкции, создаются технические средства освещения с нужными свойствами. Такая работа, как правило, не под силу одному человеку, и её выполняют группы людей, а иногда и группы институтов или компаний. Но именно в таких делах люди, создающие системы освещения, по праву гордо именуют себя дизайнерами освещения.

Намного чаще имеют место ситуации, когда предметная среда в целом задана и не подлежит изменению, а технические средства освещения могут быть выбраны пусть из достаточно большого, но все же ограниченного списка светотехнических изделий, имеющихся на рынке.

В этом случае, доминирующую роль начинают играть психологические особенности нашего восприятия — константность и целостность зрительного восприятия.

Приведенные ниже примеры поясняют, что имеется в виду:

- В 1972 г. один из основателей поп-арта, *Andy Warhol*, привлёк внимание к своей персоне, выставив серию портретов председателя Мао (рис. 1). В качестве образца он использовал фото из изданного Компартией Китая цитатника Мао Цзэдуна, а затем раскрасил элементы фона, лица и одежды разными цветами так, как это делают дети в альбомах для раскрашивания. По той же технологии были сделаны «портреты» других известных людей: Мэрилин Монро, Элизабет Тейлор, Мухамеда Али, Ленина и др. Весь фокус заключался в том, чтобы использовать легко узнаваемые изображения очень известных людей. В этом случае зритель всегда сначала схватывал «суть» изображения, т.е. изображаемый объект, а детали, в данном случае — цвета, практически не играли никакой роли. Неестественные сочетания цветов выдавались за «оригинальность». Очевидно, что если бы в качестве объектов использовались никому не известные люди, «фокус» бы не удался. Изображения были бы никому не интересны.

- Аналогично предыдущему, восприятие освещённого фасада здания со знакомой наблюдателю архитектурой практически не зависит от используемых приёмов освещения. Большая часть зданий в городах нашей страны освещена тем или иным из приведённых на рис. 2 способов. Назвать такого рода работу дизайном нельзя. «Подсветка» — вот наиболее подходящий термин для таких случаев.

Заключение

Введение в обиход термина «светодизайн» невольно подняло планку требований к такого рода деятельно-



Рис. 2. Три варианта освещения фасада здания [8]

сти на достаточно высокий уровень и выделило её из смежных областей. В зарубежной практике искусственного освещения не используют столь «обязывающих» терминов. Там предпочитают изъясняться более конкретно и ясно, используя уточняющие слова, например, «*architectural*» («архитектурный») или «*city beautification*» («украшение города»). Но нет худа без добра: «светодизайн» возможен (тому есть примеры), он требует многих знаний и умений, а главное профессионализма и ответственности со стороны людей, этим занимающихся. Светодизайн невозможен без комплексного подхода к работе и требует учёта многих факторов: социальных, экологических, экономических, особенностей объекта и города в целом. Светодизайн не может и не должен ограничиваться созданием визуализаций, изредка подкреплённых расчётами, но должен определять содержание всех стадий работы (от концепции до реализации) над объектом любого масштаба; решать не только эстетические задачи освещения, но и действительно улучшать условия жизни людей, приносить пользу.

Из вышесказанного следует, что создание своей «школы светодизайна» — непростая задача, решение которой требует интеграции знаний из различных областей науки и техники, критического анализа имеющегося отечественного и международного опыта, разработки программ и методик обучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. По теме статьи Быстрянцева Н.В., Лекус Е.Ю., Матвеева Н.В.. Школа отечественного светодизайна: стратегии и тактики // Светотехника. — 2015. — № 4. — С. 65–66 (Карпенко В.Е., Лебедкова С.М., Овчаров А.Т., Санжаров В.Б., Силкина М.А., Снетков В.Ю., Хаджин А.Г., Шепетков Н.И.) // Светотехника. — 2015. — № 5. — С. 60–68.
2. *Cuttle C.* Lighting by Design. 2nd ed. — Architectural Press, 2008. — 224 p. URL: eknigi.org (дата обращения: 09.2015).
3. *Ganslandt R., Hofmann H.* Handbook of Lighting Design. — Erco edition, 1992. — 289 p.

URL: <http://www.erco.com> (дата обращения: 09.2015).

4. *Гусев Н.М., Макаревич В.Г.* Световая архитектура. Строиздат, Москва, 1973. — 248 с.
5. *Шепетков Н.И.* Световой дизайн города. — М.: Архитектура-С, 2006. — 320 с.
6. *Rams D.*: ten principles for good design. URL: <https://www.vitsoe.com/eg/about/good-design> (дата обращения: 09.2015).
7. *Raynham P.J.* Public lighting in cities. In the book «City.People.Light. Future urban lighting concepts». — LUCI, 2007.
8. *Tulla A.* Three ways to light a building façade. URL: <http://luxreview.com/design-clinic/2014/11/three-ways-to-light-a-building-facade>.

От редакции

Редакция приглашает наших читателей к активному обсуждению статьи Е.Е. Нилова и В.Н. Степанова. Самые интересные и актуальные суждения, замечания и предложения будут опубликованы на страницах журнала.



Нилов Егор Евгеньевич,
инженер. Окончил в 2007 г. МЭИ (ТУ) и в 2015 г. Московскую международную высшую школу бизнеса МИРБИС (Институт).

Руководитель отдела «Системы управления освещением» ООО «Филип световые решения Евразия»



Степанов Виталий Николаевич,
кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. МЭИ. Технический консультант ООО «Филип световые решения Евразия»

АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Аттестат аккредитации № ВУ/112 02.10.1714 от 13.08.2012г.

проводит испытания светотехнических изделий на соответствие требованиям стандартов и ТУ по следующим характеристикам:



Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси»

220090, Республика Беларусь
г. Минск, Логойский тракт, 22, к. 2
Тел.: +375-17-281-13-35 (приёмная)
Факс: +375-17-283-91-51
E-mail: senso@inel.bas-net.by

Испытательная лаборатория:
Тел.: +375-17-281-13-62
Моб.: +375-29-174-174-6
E-mail: led.testlab@gmail.com
Начальник ИЛ:
Цвирко Виталий Иванович

СВЕТИЛЬНИКИ

- Класс светораспределения
- Тип КСС в различных плоскостях
- Световой поток, лм
- Спад и время стабилизации светового потока
- Потребляемая мощность, Вт
- Коэффициент мощности
- Световая отдача, лм/Вт
- Коррелированная цветовая температура, К
- Общий и частные индексы цветопередачи
- Коэффициент пульсаций
- Гармонический состав тока, фликер
- Температура в различных точках изделия

ЛАМПЫ, ПОДСВЕТКИ, СВЕТОВЫЕ ПАНЕЛИ

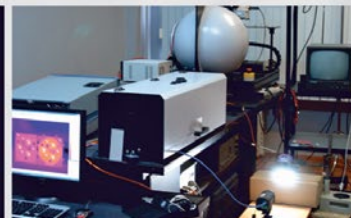
- Световой поток, лм
- Спад и время стабилизации светового потока
- Потребляемая мощность, Вт
- Коэффициент мощности
- Световая отдача, лм/Вт
- Коррелированная цветовая температура, К
- Координаты цветности (X, Y)
- Общий и частные индексы цветопередачи
- Температура в различных точках изделия
- Яркость, кд/м²
- Измеряем трубчатые лампы типа T8 и T12 с цоколем G13 длиной от 44 до 150 см
- Измеряем лампы с цоколями GU10, G9, E14, E27, E40
- Климатические испытания

СВЕТОДИОДЫ И СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ

- Вольтамперная характеристика
- Спектральное распределение излучения в диапазоне 200-1000 нм
- Световой поток, лм
- Излучаемая мощность, Вт
- Поток фотонов в области ФАР, мкмоль/с
- Эффективность в области ФАР, мкмоль/с/Вт
- «Усредненная» сила света, кд
- Яркость, кд/м²
- Коррелированная цветовая температура, К
- Координаты цветности (X, Y)
- Потребляемая мощность, Вт
- Температурный коэффициент напряжения

Работы проводятся на оборудовании ведущих мировых производителей:

- Instrument Systems (Германия)
- Agilent (США)
- Flir (Швеция)
- Testo (Германия)
- Konica Minolta (Япония)
- Laplace Instruments (Великобритания)



ГОСТ Р 50571.7.702–2013 / МЭК 60364–7–702:2010

«ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 7.

Требования к специальным установкам или местам их размещения. Раздел 702. Плавательные бассейны и фонтаны»

Стандарт ГОСТ Р 50571.7.702–2013 [1] введён в действие с 1 января 2015 года. Он идентичен международному стандарту МЭК 60364–7–702:2010.

Стандарт распространяется на электрические установки:

- ванн плавательных бассейнов и лягушатников и зон их окружающих;
- зон естественных водоемов, обводненных карьеров, прибрежных и подобных зон, предназначенных для плавания, ныряния и подобных целей, и их окружающих зон. Такие зоны рассматриваются как плавательные бассейны;
- ванн фонтанов и их окружающих зон.

Примечание – В этих зонах в нормальных условиях эффект поражения электрическим током увеличивается за счёт снижения сопротивления кожи и контакта тела с потенциалом земли.

К бассейнам для медицинского применения могут предъявляться дополнительные требования.

Стандарт не распространяется на мобильное оборудование, например на оборудование для очистки бассейна.

Комментарий

Требования к насосам приведены в ГОСТ Р МЭК 60335–2–41–98 [2].

Указанный стандарт устанавливает требования безопасности электрических насосов для жидкостей, имеющих температуру не выше 90 °С, бытового и аналогичного применения номинальным напряжением не выше 250 В для однофазных приборов и 400 В – для других приборов.

702.30.101 Общие требования

Требования стандарта основываются на размерах трех зон: 0, 1 и 2.

Ширина зоны 1 или 2 может быть уменьшена стационарными перегородками минимальной высотой 2,5 м.

Требования для плавательных бассейнов применяются также к лягушатникам.

Для ванн фонтанов, которые также предназначены для нахождения

людей, применяют требования, как для зон 0 и 1 плавательных бассейнов.

702.30.102 Описание зоны 0

Зона 0 включает в себя:

- внутреннюю часть ванн, в том числе любые углубления в их стенах или полах, и
- внутреннюю часть ванн для мытья ног, и
- внутреннюю часть водоструев или водопадов и пространства ниже их.

702.30.103 Описание зоны 1

Зона 1 ограничивается:

- границей зоны 0,
- вертикальной плоскостью на расстоянии 2 м от обрамления ванны,
- полом или поверхностью, где возможно пребывание людей,
- горизонтальной плоскостью на 2,5 м выше от пола или поверхности, где возможно пребывание людей.

Примечание – Недоступное оборудование, установленное в оболочке ниже поверхности пола, за стеной или выше потолка не рассматривают как находящиеся в зоне 1.

Если плавательный бассейн содержит погружающиеся конструкции, стартовые тумбы, скаты или другие конструкции, где возможно пребывание или доступ людей, зона 1 включает в себя зону, ограниченную:

- вертикальной плоскостью, расположенной в 1,5 м вокруг трамплинов, вышек для прыжков, стартовых блоков, скатов и других компонентов, таких как доступные прикосновению скульптуры и декоративные украшения ванн,
- горизонтальной плоскостью на 2,5 м выше самой высокой поверхности, где возможно пребывание людей.

702.30.104 Описание зоны 2

Зона 2 ограничивается:

- вертикальной плоскостью, внешней по отношению к зоне 1, и горизонтальной плоскостью на расстоянии 1,5 м от предыдущей зоны,
- полом или поверхностью, где возможно пребывание людей, и
- горизонтальной плоскостью на 2,5 м выше от пола или поверхности, где возможно пребывание людей.

Для фонтанов зона 2 не существует.

Примечание – Недоступное оборудование, установленное в оболочке ниже поверхности пола, за стеной или выше потолка, не рассматривается как находящееся в зоне 2.

702.41 Защита от поражения электрическим током

702.410.3 Общие требования

702.410.3.5 Защитные меры, такие как установка барьеров и размещение вне зоны досягаемости, как это определено в приложении В МЭК 60364–4–41, не должны применяться, см. ГОСТ Р 50571.3–2009 / МЭК 60364–4–41:2005 [3].

702.410.3.6 Защитные меры, такие как непроводящие помещения, незаземленная местная систем уравнивания потенциалов и электрическое разделение цепей при питании более чем одного электроприемника, как определено в приложении С, МЭК 60364–4–41 [3] не должны применяться.

702.410.3.101 Специальные требования для конкретной зоны

702.410.3.101.1 Зоны 0 и 1 в плавательных бассейнах, естественных водоемах, обводненных карьерах, прибрежных и подобных зонах

В зонах 0 и 1 допускается применять только защиты с помощью системы БСНН с номинальным напряжением, не превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока, за исключением применения требований в соответствии с указаниями 702.55.104.

Источник питания должен быть установлен вне зон 0 и 1. В случае установки источника питания в зоне 2 должны выполняться указания 702.53.

702.410.3.101.2 Зоны 0 и 1 в фонтанах

В зонах 0 и 1 следует применять только следующие защитные меры:

- систему БСНН, см. раздел 414 МЭК 60364–4–41 [3], с источником питания, устанавливаемым вне зон 0 и 1, или

Таблица 702.1 – Минимальная степень защиты установленного электрооборудования для зон

Обозначение зоны	Установка снаружи с применением водоструев для очистки	Установка снаружи без применения водоструев	Внутри с применением водоструев для очистки	Внутри без применения водоструев
0	IPX5/IPX8	IPX8	IPX5/IPX8	IPX8
1	IPX5	IPX4	IPX5	IPX4
2	IPX5	IPX4	IPX5	IPX2

– автоматическое отключение питания, см. раздел 411 МЭК 60364–4–41 [3], с использованием защитного устройства дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, или

– электрическое разделение цепей, см. раздел 413 МЭК 60364–4–41 [3], с питанием от разделительного трансформатора, установленного вне зон 0 и 1 для единичного электроприемника.

Комментарий

В пункте 702.410.3.101.2 и в последующих пунктах вместо текста «с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА» следует читать «с номинальным дифференциальным током, не превышающим 30 мА»

702.410.3.101.3 Зона 2 в плавательных бассейнах, в естественных водоемах, обводненных карьерах, прибрежных и подобных зонах

Примечание – Для фонтанов зона 2 отсутствует.

Одна или более из следующих защитных мер могут быть использованы:

– система БСНН, см. раздел 414 МЭК 60364–4–41 [3]. Источник питания должен быть установлен вне зон 0 и 1. В случае установки источника питания в зоне 2 должны выполняться требования 702.53, или

– автоматическое отключение питания, см. раздел 411 МЭК 60364–4–41 [3], с использованием защитного устройства дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, или

– электрическое разделение цепей, см. раздел 413 МЭК 60364–4–41 [3], с питанием от разделительного трансформатора, установленного вне зон 0 и 1 для единичного электроприемника. В случае установки электроприемника в зоне 2 должны быть выполнены требования 702.53.

702.414 Защитные меры: сверхнизкое напряжение (БСНН и ЗСНН)

702.414.4 Требования для цепей БСНН и ЗСНН

Применение системы ЗСНН не допускается.

702.415 Дополнительные защиты

702.415.2 Дополнительные защиты: дополнительное уравнивание потенциалов

Все сторонние проводящие части в зонах 0, 1 и 2 должны быть присоединены защитными проводниками уравнивания потенциалов к защитным проводникам открытых проводящих частей оборудования, расположенного в этих зонах.

Примечание 3 – Такими частями могут быть, например:

- металлические трубопроводы для водоснабжения, водоотведения, газа, отопления, климатконтроля,
- металлические конструкции зданий,
- металлические конструкции ванны,
- металлическое укрепление неизолированных полов,
- металлическая арматура железобетонной ванны.

Полы, выполненные из керамической плитки, крепление которых полностью закрыто плиткой и недоступно без повреждения плитки, не рассматривают как сторонние проводящие части и не включают в систему дополнительного уравнивания потенциалов.

Отдельные плитки без металлического крепления, облицовочную плитку и плитку, уложенную на грунте (например, на лужайке), не рассматривают как сторонние проводящие части и не включают в систему дополнительного уравнивания потенциалов.

Примечание 4 – Следующие проводящие части обычно не включают в систему дополнительного уравнивания потенциалов: лестницы ванны и барьеры, погруженные лестницы, перила и захваты на обрамлении ванны, защитные сетки, в том числе сетки на проемах труб перелива, рамы окон, дверные проемы, стартовые тумбы.

Комментарий

В указанном выше пункте 702.415.2 отмечается необходимость устройства в электроустановках плавательных бассейнов и фонтанов системы дополнительного уравнивания потенциалов.

Фактически:

– в плавательном бассейне с ванной, лягушатником, спортивным залом, вентиляционными камерами, другими техническими помещениями должна предусматриваться в соответствии с пунктом 542.4.1 ГОСТ Р 50571.5.54–2013 / МЭК 60364–5–54:2011 [4] главная система уравнивания потенциалов, включающая главную заземляющую шину, заземляющий проводник, заземлитель, защитные проводники уравнивания потенциалов. Для устройства системы дополнительного уравнивания потенциалов в электроустановке бассейна необходимо предусмотреть отдельную шину, подключение к которой выполнить в соответствии с требованием пункта 702.415.2 и затем присоединить эту шину к главной к главной заземляющей шине здания;

– в электроустановке фонтана монтаж главной заземляющей шины обеспечивает выполнение требований пункта 542.4.1 ГОСТ Р 50571.5.54–2013 [4] без установки шины дополнительного уравнивания потенциалов.

702.5 Выбор и монтаж электрооборудования

702.512.2. Внешние воздействия

Степень защиты электрооборудования должна быть не ниже указанной в таблице 702.1

Примечание 2 – Одновременное применение степеней защиты IPX5 и IPX8 необходимо в связи с тем, что IPX8 не обеспечивает защиту от водяных струй.

702.52 Электропроводки

Применяют МЭК 60364–5–52 (подраздел 522.8), см. ГОСТ Р 50571.5.52–2011 / МЭК 60364–5–52:2009 [5] со следующим дополнением:

702.522.8.101 Монтаж в отдельных зонах

В зонах 0, 1 и 2 электропроводки не должны иметь доступного металлического покрытия. Недоступные металлические покрытия должны быть соединены с системой дополнительно уравнивания потенциалов.

Примечание — Кабели должны быть смонтированы в трубах, чтобы облегчить их замену.

702.522.8.102 Ограничения на выполнение электропроводок в отдельных зонах

В зонах 0 и 1 выполняют только электропроводки для питания оборудования, установленного в этих зонах.

Цепи, монтируемые в зоне 2 или в стенах, потолках или полах, разграничивающих зоны 0, 1 или 2 и питающие оборудование, расположенное вне этих зон, должны быть:

- замоноличены в глубину не менее 5 см, или
- защищены устройством защиты дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, или
- защищены с помощью системы БСНН, или
- защищены электрическим разделением цепей.

702.522.8.103 Дополнительные требования для электропроводок фонтанов

Допускается использование кабелей типа 66 по МЭК 60245 [6] или с аналогичными характеристиками.

Для прокладки кабелей должны использоваться только трубы, соответствующие МЭК 61386-1, см. ГОСТ Р МЭК 61386.1-2014 [7].

Комментарий

В приложении А ГОСТ ИЕС60245-1-2011 [6] приведена характеристика кабелей типа 66: 6 — кабели для тяжелых условий эксплуатации, 66 — гибкий кабель в усиленной полихлоропреновой или аналогичной синтетической эластомерной оболочке.

В соответствии с приложением А ГОСТ Р МЭК 61386.1-2014 [7] классификационному коду Х5ХХ соответствуют трубы, степень сопротивления удару которых соответствует «очень тяжелой силе удара».

Для выполнения электропроводок целесообразно применять:

- гибкие армированные трубы изготовления ЗАО «Диэлектрические Кабельные Системы» с аксессуарами

для ввода армированных труб в коробки, шкафы, щитки и боксы,

- гибкий кабель КНГ с медными жилами, в усиленной полихлоропреновой оболочке изготовления ОАО «Электрокабель» Кольчугинский завод».

Для фонтанов, не предназначенных для нахождения людей, должны выполняться следующие дополнительные требования:

а) кабели или изолированные провода в неметаллических трубах для подключения электрооборудования в зоне 0 должны быть смонтированы далеко, насколько это возможно, от обрамления ванны и проложены к электрическому оборудованию в ванне кратчайшим путем. Кабели следует прокладывать в трубах, чтобы облегчить их замену,

б) в зонах 0 и 1 кабели или изолированные провода следует прокладывать в неметаллических трубах с соответствующей механической защитой.

702.522.8.104 Соединительные коробки не должны быть установлены в зоне 0.

В зоне 1 допускается установка соединительных коробок для цепей БСНН (см. 702.410.3.101).

702.53 Аппаратура коммутации и управления

Применяют МЭК 60364-5-53, см. ГОСТ Р 50571.5.53-2013 [8] со следующим дополнением:

В зоне 0 не должна быть установлена аппаратура коммутации или управления, включая розетки.

В зоне 1 аппаратура коммутации, управления и розетки могут быть установлены только для цепей БСНН, источник питания которых установлен вне зон 0 и 1. Если источник питания системы БСНН установлен в зоне 2, его цепи питания должны быть защищены устройством защиты дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА.

В зоне 2 установка аппаратуры коммутации, управления и розеток не допускается, если отсутствует одна из защитных мер:

- а) система БСНН, см. раздел 414.3 МЭК 60364-4-41:2005 [3], источник питания установленный снаружи зоны 0 и 1. Если источник питания системы БСНН устанавливается в зоне 2, его цепи питания должны быть защищены, или

б) автоматическое отключение питания с дополнительной защитой, см. раздел 415.1 МЭК 60364-4-41:2005 [3], с использованием устройства дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, или

в) электрическим разделением цепей, см. раздел 413 МЭК 60364-4-41, [3], с индивидуальным разделительным трансформатором, который устанавливается вне зон 0 и 1.

Если трансформатор для электрического разделения устанавливается в зоне 2, его цепи должны быть защищены устройством защиты дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА.

702.55 Прочее оборудование

Применяют МЭК 60364-5-55, см. ГОСТ Р 50571.29-2009 (МЭК 60364-5-55:2008) [9], со следующим дополнением:

702.55.101 Электроприемники плавательных бассейнов

702.55.101.1 В зонах 0 и 1 следует применять стационарные электроприборы и, в первую очередь, специально разработанные для применения в плавательных бассейнах, с учетом требований 702.55.102 и 702.55.104.

702.55.101.2 Если предполагается установка стационарно присоединенного оборудования для очистки бассейна в зонах 0 и 1, должна быть применена система БСНН напряжением, не превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока, с источником питания, установленным вне зон 0 и 1.

Если источник питания устанавливается в зоне 2, должны быть выполнены требования 702.53 (см. 702.410.3.101.1).

702.55.101.3 Питающие насосы или другое специальное электрооборудование, предназначенное для установки в плавательных бассейнах и расположенное в комнатах или помещениях, смежных с бассейном, с доступом через люк (или дверь), расположенным на настиле, окружающем бассейн, должны быть защищены одним из следующих способов:

- а) системой БСНН напряжением, не превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока с источником питания, установленным вне зоны 2. Если источник питания устанавливается в зоне 2, должны выполняться требования 702.53 (см. 702.410.3.101.1);

б) электрическим разделением согласно раздела 413 с одновременным выполнением следующих условий:

— если насос или другое оборудование соединены с бассейном, то соединение должно быть выполнено в электроизоляционных трубах,

— люк или дверь должна открываться только с помощью ключа или инструмента,

— степень защиты оборудования, установленного в комнате или помещении, должна быть не ниже IPX5 или такая защита должна быть обеспечена оболочкой;

в) автоматическим отключением питания с одновременным выполнением следующего условия:

— если насос или другое оборудование соединены с бассейном, то соединение должно быть выполнено в электроизоляционных трубах или металлических трубах, соединенных с системой уравнивания потенциалов бассейна,

— люк или дверь должна открываться только с помощью ключа или инструмента,

— степень защиты оборудования, установленного в комнате или помещении, должна быть не ниже IPX5 или такая защита должна быть обеспечена оболочкой,

— дополнительное уравнивание потенциалов должно быть выполнено в соответствии с требованиями 702.415.2,

— оборудование должно быть защищено устройством дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА.

Примечание — Помещение, где располагается оборудование, рассматривается как находящееся снаружи зоны 1 и 2.

Комментарий

Вместо «согласно раздела 413» следует читать «см. раздел МЭК 60364-4-41 [3]».

705.55.102 Подводное освещение плавательных бассейнов

Светильники для установки в воде или в контакте с водой должны соответствовать требованиям МЭК 60598-2-18, см. ГОСТ IEC60598-2-18-2011 [10].

Подводное освещение, установленное за водонепроницаемыми иллюминаторами и обслуживаемое сзади, должно располагаться таким способом, при котором никакое наме-

ренное или неумышленное действие не приводило бы к возникновению электрической связи между открытыми проводящими частями подводных светильников и проводящими частями иллюминаторов.

702.55.103 Электрооборудование фонтанов

Электрооборудование в зонах 0 и 1 должно быть закрыто (недоступно), например, с помощью армированного стекла или сетки, которые могут быть удалены только при помощи инструмента.

Электрические насосы должны соответствовать требованиям МЭК 60335-2-41 [2].

702.55.104 Специальные требования к установке низковольтного электрооборудования в зоне 1 плавательных бассейнов

702.55.104.1 Стационарное оборудование (например, системы фильтрации, циркуляционные насосы), особенно предназначенное для установки в бассейнах и получающее питание от источника низкого напряжения, допускается устанавливать в зоне 1 при выполнении следующих требований:

а) оборудование должно быть размещено в оболочке с усиленной изоляцией и защитой от механического воздействия AG2 (средняя жесткость), см. ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93) [11],

б) должны выполняться требования 702.55.101.3,

в) открытие люка (см. 702.55.101.3) должно приводить к разъединению всех рабочих проводников оборудования, заключенного в оболочку. Питающий кабель и отключающий аппарат должны быть установлены таким образом, чтобы на всем протяжении была обеспечена защита II класса или эквивалентная изоляция.

702.55.104.2 Для плавательных бассейнов, в которых отсутствует зона 2, осветительное оборудование, питающееся от цепей, кроме цепей системы БСНН с напряжением, не превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока (см. раздел 702.410.3.101.1), может быть установлено в зоне 1 на стене или потолке при условии, что выполняются следующие требования:

— цепь защищена автоматическим отключением питания и дополнительной защитой с применением защитного устройства дифференци-

ального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, и

— высота расположения наиболее низкой части осветительного оборудования на высоте не менее 2 м от границы нижерасположенной зоны 1.

702.55.105 Системы обогрева пола и потолка

Применяют МЭК 60364-7-753, см. ГОСТ Р 50571.7.753-2011 / МЭК 60364-7-753:2005 [12].

Дополнение

Модули электрического отопления, встроенные в пол, могут быть установлены при условии, что они защищены:

— системой БСНН, см. МЭК 60364-4-41, раздел 414 [3] с источником питания, установленным вне зон 0 и 1.

Если источник питания установлен в зоне 2, должны быть выполнены требования 702.53 или требования по автоматическому отключению питания греющего модуля, который должен быть покрыт заземленной металлической сеткой или иметь заземленную металлическую оболочку, соединенную с дополнительной системой уравнивания потенциалов в соответствии с требованиями 702.415.2. Цепь питания должна быть дополнительно защищена с помощью защитного устройства дифференциального тока с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50571.7.702-2013 / МЭК 60364-7-702:2010 «Электроустановки низковольтные. Часть 7. Требования к специальным установкам или местам их размещения. Раздел 702. Плавательные бассейны и фонтаны». — М.: Стандартинформ, 2014.

2. ГОСТ Р МЭК 60335-2-41-98 «Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Дополнительные требования к насосам и методы испытаний». — М.: Издательство стандартов, 2004.

3. ГОСТ Р 50571.3-2009 / МЭК 60364-4-41:2005 «Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током». — М.: Стандартинформ, 2011.

4. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 / МЭК 60364-5-54:2011 «Электроустанов-

ки низковольтные. Часть 5–54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов». – М.: Стандартинформ, 2014.

5. ГОСТ Р 50571.5.52–2011 / МЭК 60364–5–52:2009 «Электроустановки низковольтные. Часть 5–52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки». – М.: Стандартинформ, 2013.

6. ГОСТ IEC60245–1–2011 «Кабели с резиновой изоляцией на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Часть 1. Общие требования». – М.: Стандартинформ, 2014.

7. ГОСТ Р МЭК 61386.1–2014 «Трубные системы для прокладки кабелей. Часть 1. Общие требования». – М.: Стандартинформ, 2015.

8. ГОСТ Р 50571.5.53–2013 «Электроустановки низковольтные. Часть 5–53. Выбор и монтаж электрооборудования. Отделение, коммутация, управление». – М.: Стандартинформ, 2014.

9. ГОСТ Р 50571.29–2009 (МЭК 60364–5–55:2008) «Электрические установки зданий. Часть 5–55. Выбор и монтаж электрооборудования. Прочее оборудование». – М.: Стандартинформ, 2009.

10. ГОСТ IEC60598–2–18–2011 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 18. Светильники для плавательных бассейнов и аналогичного применения». – М.: Стандартинформ, 2012.

11. ГОСТ Р 50571.2–94 (МЭК 364–3–93) «Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики». – М.: Издательство стандартов, 1995.

12. ГОСТ Р 50571.7.753–2011 / МЭК 60364–7–753:2005 «Электроустановки низковольтные. Часть 7–753. Требования к специальным установкам или местам их расположения. Электроустановки с нагреваемыми полами и потолочными поверхностями». – М.: Стандартинформ, 2014.

*Р.И. Пашковский,
инженер-проектировщик,
корреспондент журнала «Светотехника»
в Санкт-Петербурге*

Поздравляем с юбилеем!

Юлиану Борисовичу Айзенбергу – 85 лет



Редакция и редколлегия журнала, коллеги и друзья поздравляют с 85-летием Юлиана Борисовича Айзенберга – широко известного в нашей стране и в мире учёного-светотехника, организатора светотехнической промышленности, разработчика и изобретателя световых приборов и систем освещения, автора и редактора многих книг и брошюр, пропагандиста и популяризатора светотехнических знаний, педагога и общественного деятеля, доктора технических наук, профессора, заслуженного изобретателя РФ, академика Академии электротехнических наук РФ, главного научного сотрудника ООО «ВНИСИ», шеф-редактора журналов «Светотехника» и «Light & Engineering» и главного научного консультанта проекта ПРООН/ГЭФ/Минэнерго РФ и желают ему крепкого здоровья и всего наилучшего.

Основные итоги большой научной и общественной деятельности Юлиана Борисовича отмечены рядом наград: орденом Трудового Красного Знамени, медалью «За трудовую доблесть» и другими медалями, а также большой золотой, тремя золотыми и серебряной медалями ВДНХ. Но самая главная награда – чувство глубокого уважения и признательности многих отечественных и зарубежных светотехников, товарищей по работе и друзей Ю.Б. Айзенберга к нему – замечательному человеку, гражданину, талантливому и неутомимому труженику, неизменно доброжелательному к людям, исключительно вежливому в общении, умеющему находить приемлемые компромиссы во многих сложных ситуациях, обладающему общей внутренней культурой, готовому оказать каждому помощь и поддержку в трудную минуту.

interlight

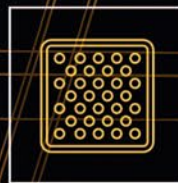
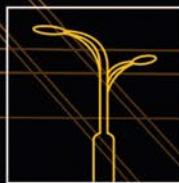
MOSCOW

powered by light+building

Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий

8 — 11 ноября 2016

ЦВК «Экспоцентр», Москва



Получите бесплатный билет на сайте
www.interlight-moscow.ru



messe frankfurt

Fagerhult на выставке «light+building»: ставка на инновации

Светотехнический концерн **Fagerhult** – один из крупнейших производителей профессиональных систем освещения в Европе – представлял с 13 по 18 марта на выставке «light+building», во Франкфурте-на-Майне, новые продукты и решения: современные и энергоэффективные системы освещения и контроля для общественных помещений и торговых пространств, а также для наружного освещения.



Рис. 1. «Beta Opti» – двойная параболическая решётка с матовыми поперечными и продольными пластинами и встроенным рассеивателем из опаловой плёнки

• Инновационная решётка «Beta Opti» для светодиодов

С самого начала использования светодиодов перед специалистами по освещению стояла непростая задача: как совместить высокую интенсивность освещения и зрительный комфорт? Путём длительных поисков мы справились с этой задачей, адаптировав экранирующую решётку «Beta», использовавшуюся ранее для светильников с люминесцентными лампами T5, под светодиодные источники света, снабдив её дополнительным рассеивателем из опаловой плёнки (рис. 1). Благодаря технологии «Opti» решётка позволяет использовать все преимущества светодиодов, не опасаясь появления блёскости. При использовании светодиодов в комбинации с решёткой «Beta Opti» значения световой отдачи возрастают с 70 лм/Вт (T5) до 120 лм/Вт (светодиоды). Эта технология обеспечивает максимальный комфорт зрительного восприятия.

• «Tunable White» – технология изменения цветовой температуры

Системы контроля – ещё одно направление развития Fagerhult. На выставке мы представили новую технологию – «Tunable White», которая позволяет менять цветовую температуру светильника в диапазоне от 2700 до

6500 К. Контроль цветовой температуры актуален в помещениях с ограниченным доступом к дневному свету или помещениях открытой планировки, сочетающих несколько функций. Доказано, что цветовая температура влияет на наше эмоциональное состояние: белый свет холодный повышает активность, а теплый расслабляет и располагает к общению. Предпочтения по цветовой температуре у людей различны и меняются с возрастом. Поэтому технология «Tunable White» – важный шаг к созданию персональной динамичной световой среды (рис. 2).

«Tunable White» интегрируется в наше мобильное приложение «e-Sense Tune», что позволяет управлять с мобильного устройства (рис. 3) изменением цветовой температуры и яркости освещения в разных сочетаниях. Доступны как ручная настройка яркости и цветовой температуры, так и различные режимы автоматического изменения обоих этих параметров с течением дня (рис. 2), а также ориентирование на часовой пояс или уровень дневного света в помещении.

Пример воплощения этой технологии – на рис. 4.

• «e-Sense Organic»

На выставке мы также представили современную и энергоэффективную систему управления освещением

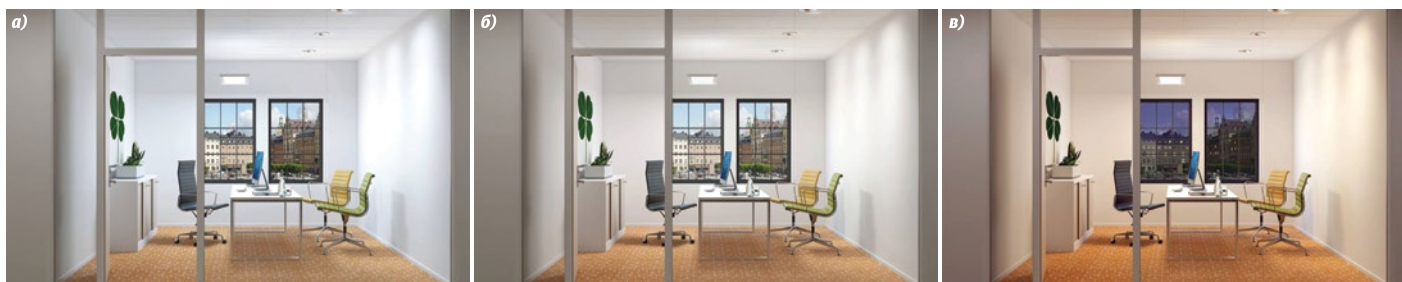


Рис. 2. «Tunable White» – важный шаг к созданию персональной динамичной световой среды

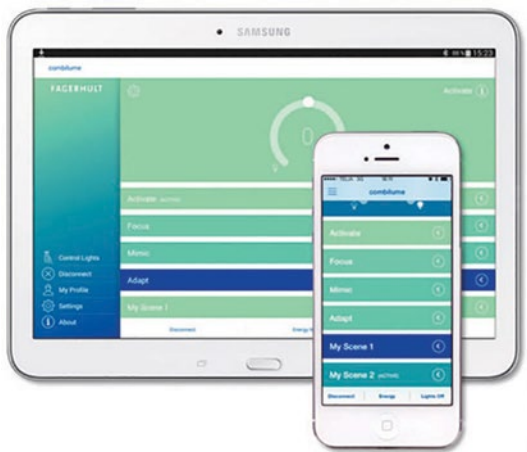


Рис. 3. Мобильное устройство «e-Sense Tune»

«e-Sense Organic», на создание которой вдохновила сама природа. Посмотрите на косяк рыб: каждая особь принимает решения, ориентируясь на условия среды и действия других особей. Рыба действует самостоятельно, но является частью единой системы, принимающей общие решения без централизованного контроля. Система «e-Sense Organic», интегрированная в светильники Fagerhult, использует этот природный механизм. Каждый светильник оснащён датчиками движения и дневного света, ИК-передатчиком, ИК-приёмником и микропроцессором. Когда датчик распознаёт присутствие человека, светильник задаёт определённый уровень освещённости и передаёт информацию соседним светильникам (рис. 5). Получив сигнал, они также меняют уровень освещённости и, в свою очередь, передают сигнал сле-

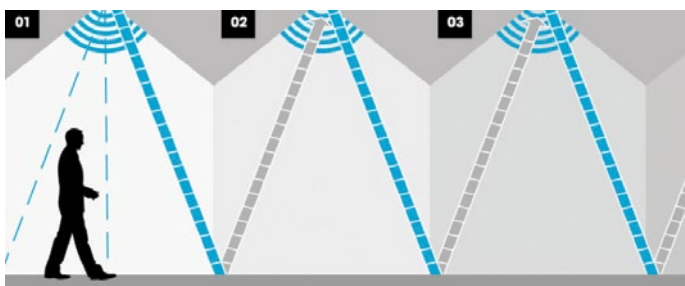


Рис. 5. Получив сигнал о срабатывании датчика одного светильника, другие светильники меняют уровень освещённости, передают сигнал следующим светильникам и вместе освещают пространство достаточного объёма для комфортного перемещения человека

дующим светильникам. В результате каждый человек находится в световом поле достаточного объёма для комфортного перемещения. До сих пор освещать зону, в которую направляется перемещающийся человек, можно было лишь сложной комбинацией датчиков движения и программированием системы управления светильниками. Система «e-Sense Organic» позволяет добиваться этого результата автоматически.

«e-Sense Organic» – умная беспроводная система, позволяющая с помощью мобильного приложения легко считывать информацию и управлять настройками освеще-

щения: уровнем освещённости, интервалами времени, временем задержки, чувствительностью датчика, мощностью ИК-передатчика.

Система «e-Sense Organic» оптимальна для офисов открытого типа и общественных зданий.

• **«Ghost» от SIMES: свет и ничего лишнего**

Fagerhult является официальным дистрибьютором SIMES в России. Ведущий итальянский производитель наружного освещения также представил свои новинки на выставке «light+building», удивив гостей новыми сериями светильников из дерева, бетона и алюминия. На стенде SIMES представлен уникальный продукт – серия светильников «Ghost» от Марка Садлера. «Ghost» – это бескорпус-



Рис. 4. Декоративные светильники «Sweep» и «Scoot» с комбинацией прямого и отражённого света. Могут быть дополнены функцией смены цветовой температуры «Tunable White» и возможностью управления с помощью мобильного устройства «e-Sense Tune»

ные светильники, которые монтируются на этапе строительства в бетонные конструкции, создавая лаконичные световые ниши (рис. 6).

**Материал подготовлен
Fagerhult Россия
30.03.2016**

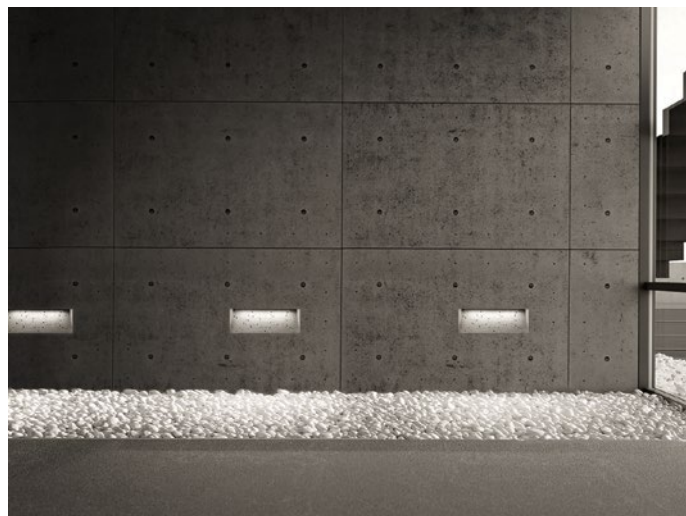
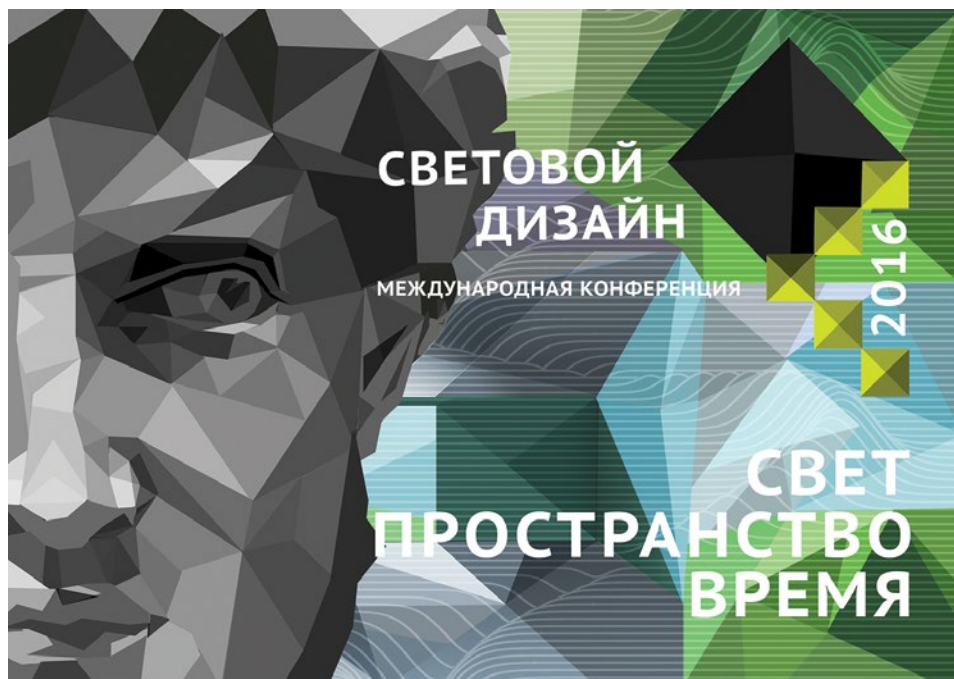


Рис. 6

Международная научно-практическая конференция «Световой дизайн – 2016»

Тема этого года: «Свет. Пространство. Время»



6–7 октября 2016 г.
С 10.00 до 18.00
Vedensky Hotel
Санкт-Петербург
Россия

Организаторы
Университет ИТМО,
Высшая школа светового
дизайна Университета
ИТМО и творческое
объединение
светодизайнеров *RULD*.

Количество участников
250–300 человек.

Специальные гости конференции

Софи Каклен, Марко Фраскароло, Роже Нарбони, Сергей Мителёв, Вячеслав Кoleyчук, Александр Букатов, Валерий Нефёдов, Николай Щепетков, Наталья Быстрянцева, Владимир Карпенко и др.

Цели и задачи конференции

Привлечь внимание городских властей, общественности, профессионального и научного сообществ к наиболее актуальным вопросам качественного использования света в городской, бытовой и общественной среде с точки зрения взаимодействия научной, художественной и технической составляющих светового проектирования. Способствовать формированию социального запроса на качественную профессиональную деятельность, стабиль-

ное развитие практических и образовательных направлений светового дизайна в долгосрочной перспективе и на развитие световой культуры в целом.

Аудитория

Специалисты ведущих российских и зарубежных университетов, студенты, светодизайнеры, архитекторы, инженеры, искусствоведы, художники, культурологи, философы, руководители и топ-менеджеры ведущих световых компаний, представители государственных учреждений и органов власти.

Дискуссионные направления:

- светодизайн и общество;
- светодизайн и город;
- светодизайн и наука;
- светодизайн и искусство;
- светодизайн и образование.

Проблематика конференции

Пространственная организация любой среды всегда несёт на себе печать актуальных для своей эпохи представлений о пространственно-временном устройстве мира. Искусственная световая среда города – особый пространственно-временной континуум, не сводимый к одним лишь физическим параметрам. **Это реальность, созданная человеком, активно координирующая социальные процессы и отношения, порождающая их новые формы.** По своим фантастическим возможностям, визуальным эффектам, влиянию на психофизиологию, чувственно-эмоциональный мир и сознание человека она сопоставима с виртуальной реальностью, создаваемой при помощи компьютерных технологий. В то же время **искусственная световая среда – это повседневность, фор-**

мы и содержания которой возникают или проявляются только в темноте.

Современный мир уже мало чем напоминает ту стройную систему, в которой жил и созидал человек традиционного общества. Его пространство изоморфно, текуче и непостоянно, в нём наличествует множество подвижных центров, а время течёт по-разному в нескольких измерениях. С этой точки зрения свет является универсальным средством, эффективно приспособляющим пространства традиционных городов под изменения, произошедшие с ходом времени: в общественном и индивидуальном сознании, в социальных отношениях и процессах, в эстетических предпочтениях и различных функциях, в общественных институтах и потребностях современного человека, в технологиях и процессах проектирования освещения. При помощи света становится возможным создание той самой гетерогенной, многофункциональной, изменчивой среды (= реальности), которая соотносима с сегодняшними представлениями о пространственно-временном мироустройстве.

Насколько эта реальность пригодна для обитания человека? Можно ли найти в ней ответы на актуальные вопросы, которые неразрешимы в той реальности, где мы все пребываем в дневное время суток? С какими проблемами и противоречиями приходится сталкиваться обществу и его отдельному представителю в границах световых решений – световой реальности? Возможно ли при помощи света преодолеть трудности внешней и внутренней ориентации (следовательно, идентификации в непрерывно меняющемся мире) или, напротив, свет ещё более усугубляет дезориентированность и отчуждение в пространстве города и в обществе в целом? Следует ли принимать фрагментированное, дискретное восприятие человеком окру-

жающих его явлений как данность или же свет может стать одним из способов гуманизации и комплексной организации пространства и создания принципиально новой целостной картины мира? Чем является сейчас свет – праздничной обложкой, средством зарабатывания или средством проектирования? Что важнее архитектура или пространство для функционирования человека в вечернем/ночном городе? Как раскрывается понятие времени в разрезе светового дизайна? Обсуждение этих вопросов состоится на Международной научно-практической конференции «Световой дизайн – 2016».

Конкурсы

В рамках Международной научно-практической конференции «Световой дизайн – 2016» состоятся два социальных конкурса: «**СВЕТ: Мотивация или Манипуляция?**» (создание проекта световой инсталляции) и «**Light&Movies**» (конкурс на лучший видеоролик), где участники смогут продемонстрировать своё отношение к свету и его проблематике.

По условиям **конкурса световых инсталляций «СВЕТ: Манипуляция или Мотивация?»** проект должен включать в себя концепцию и техническое описание светового объекта, интерактивной световой скульптуры или освещения. Авторам предлагается раскрыть тему конференции «Свет. Пространство. Время».

Идея конкурса. На протяжении всей истории человечества свет выступал важнейшим элементом общественной жизни и социокультурного пространства, выявляя характерные особенности общественного сознания в разные периоды. Так, во второй половине XX столетия свет стал одним из мощнейших инструментов создания мира иллюзий и видимостей, тем самым превратившись в эффективное средство манипуляции общественным созна-

нием. Сегодня *манипуляция и мотивация* выступают противоречием светового дизайна и световой культуры в целом, разрешение которого во многом зависит от выбора самого светодизайнера.

Социальный характер данного проекта и его экспериментальная направленность призваны привлечь внимание профессионального сообщества, административных структур и горожан к проблемам формирования световой среды современных общественных пространств.

Победившие проектные решения световых инсталляций будут реализованы в профессиональных мероприятиях. Остальных участников ожидают призы в разных номинациях.

Конкурс короткометражных фильмов и видеороликов «Light&Movies» предлагает авторам продемонстрировать своё понимание и видение света в жизни каждого человека. Продолжительность ролика от 2 до 4 мин.

Идея конкурса. Жизнь в свете: события, люди, мысли, поступки, ощущения, эмоции... Что происходит с ними, с нами, с окружающим миром, когда они оказываются объектом осмысления светодизайнера!?

По результатам профессионального и общественного голосования лучшие фильмы удостоятся наград в разных номинациях и будут представлены в рамках программы конференции «Световой дизайн – 2016».

Сроки проведения конкурсов: с 01 апреля по 24 мая 2016 г.

Вся информация о проведении мероприятий размещена на сайтах Высшей школы светового дизайна Университета ИТМО (cld.ifmo.ru) и творческого объединения светодизайнеров *RULD* (rulld.ru).

Заявки на участие в конференции и конкурсные работы направлять на электронный адрес cld@corp.ifmo.ru.

Испытательный центр светотехнической продукции ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова» (ИЦ ВНИСИ)

Светотехнические измерения и испытания во ВНИСИ проводятся со времени его образования, в 1951 г. В итоге накоплен большой опыт в этой области, подготовлено несколько поколений специалистов по светотехническим измерениям, некоторые из которых до сих пор работают во ВНИСИ (ныне ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»). В настоящее время измерительное оборудование и специалисты (9 человек) объединены в Испытательный центр светотехнической продукции (ИЦ ВНИСИ).

С 14.01.2013 ИЦ ВНИСИ аккредитован на независимость и техническую компетентность при проведении измерений светотехнической продукции в соответствии с новыми, более жёсткими требованиями Федеральной службы по аккредитации (Росаккредитация), аттестат аккредитации ИЦ ВНИСИ действует до 14.01.2018 (рис. 1).

В соответствии с областью аккредитации ИЦ ВНИСИ имеет право проводить (и проводит) испытания светотехнической продукции с целью подтверждения её соответствия требованиям Технического регла-

та Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» (ТР ТС 004/2011), требованиям Технического регламента РФ «О безопасности низковольтного оборудования» (Федеральный закон от 27 декабря 2009 г. № 347-ФЗ), а также — подтверждения соответствия светотехнической продукции нормативной документации (ГОСТ, ГОСТ Р МЭК и другим нормативным документам на конкретное изделие). Виды испытаний и перечень подлежащих испытанию изделий приведены в области аккредитации ИЦ ВНИСИ (является неотъемлемой частью аттестата аккредитации).

ИЦ ВНИСИ обладает разными видами современного точного измерительного оборудования, которое ежегодно поверяется. В составе оборудования: современный высокоточный цифровой гониофотометр «RIGO-801» (*TechnoTeam*) (рис. 2), 2 фотометрических шара диаметром 2 (рис. 3, а) и 1,5 (рис. 3, б) м, фотометрическая скамья длиной 3 м (рис. 3, в), светоизмерительные лампы «СИС» и «СИП», современные матричные спектрорадиометры

(*Instrument Systems, OceanOptics*), прецизионные электроизмерительные приборы (мультиметр (*Fluke*), измеритель мощности (*Yokogawa*) и др.), современный вибростенд (*TIRA*) (рис. 4), климатические камеры тепла, холода и повышенной влажности. Всё оборудование проходит ежегодную поверку в специализированных метрологических центрах (ФГУП «Ростест», ФГУП «ВНИИ-ОФИ» и др.).

ИЦ ВНИСИ проводит комплексные измерения и испытания, позволяющие заключать о соответствии испытанной продукции широкому спектру требований норм и стандартов, являющихся частью доказательной базы ТР ТС 004/2011.

ИЦ ВНИСИ проводит:

- фотометрические, спектроколориметрические, электрические и тепловые измерения;
- климатические и механические испытания.

Объективность и точность измерений, проводимых в ИЦ ВНИСИ, подтверждается результатами международных сличений. Так, в 2013–2014 гг. ИЦ ВНИСИ принял успешное участие в крупномасштабных международных межлабораторных сличениях «IC2013», под эгидой Международного энергетического агентства (МЭА). В них участвовали 110 лабораторий из 19 стран, в том числе ИЦ и лаборатории таких всемирно



Рис. 1. Аттестат аккредитации ИЦ ВНИСИ, выданный Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитация)

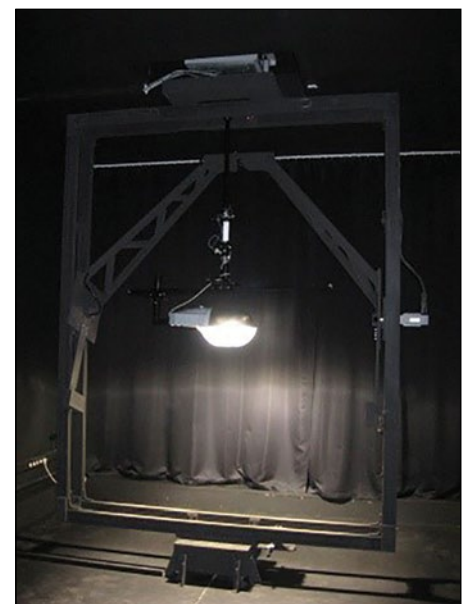


Рис. 2. Гониофотометр ближнего поля измерений «RIGO-801» с измеряемым «уличным» светильником со светодиодами, находящимся в рабочем неподвижном положении

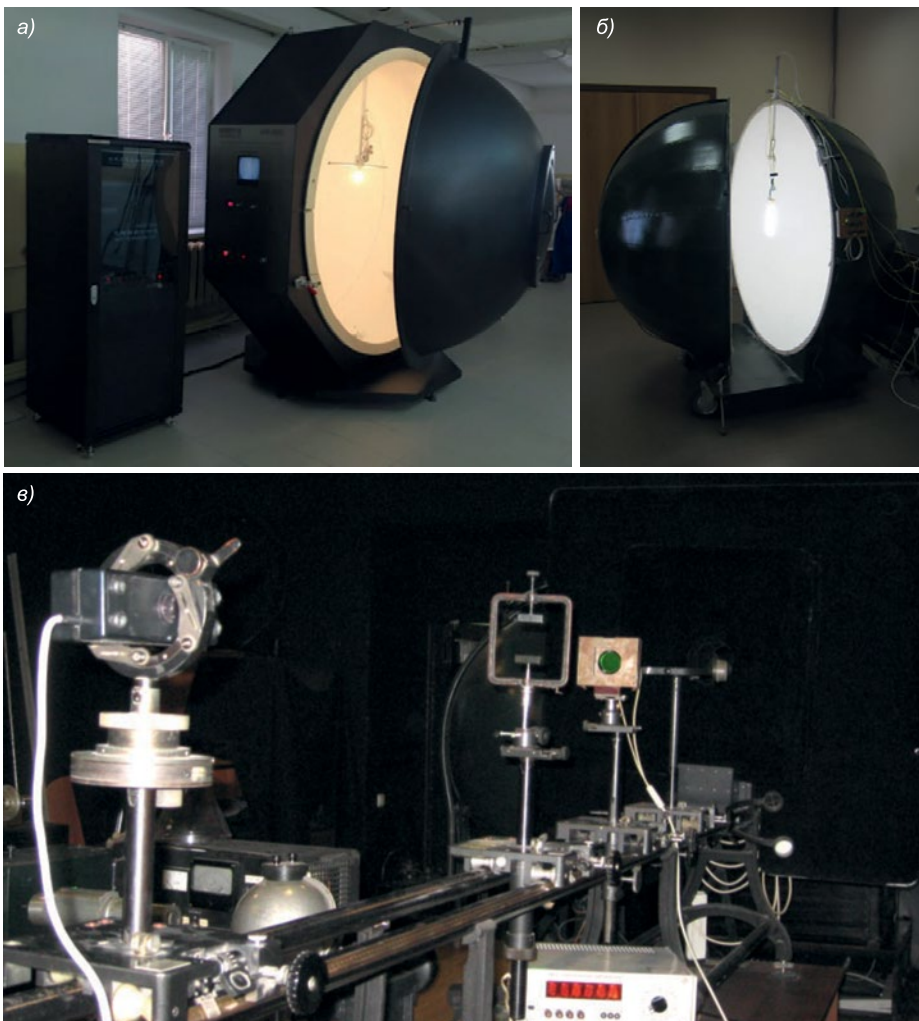


Рис. 3. Фотометрические шары диаметром 2 (а) и 1,5 (б) м и фотометрическая скамья с измерительным оборудованием (в)

известных организаций и компаний, как *NIST* (США), *VSL* (Нидерланды), *CREE* (США), *General Electric* (США), *Hitachi* (Япония), *Toshiba* (Япония), *Panasonic* (Япония), *OSRAM* (Герма-

ния), *Philips* (Нидерланды) и *Osram Sylvania* (США).

Для ИЦ ВНИСИ эти сличительные измерения были полезны и успешны. Так, при измерениях светового потока тестируемых образцов в ИЦ ВНИСИ отклонения от «истинных значений» составили от 1,7 до 3,4% (очень хороший результат). Эти сличения позволили сравнить ИЦ ВНИСИ с мировыми ИЦ и лабораториями, наметить мероприятия по дальнейшему повышению точности и улучшению качества измерений. В журнале «Светотехника» № 5 за 2015 г. (с. 35–41) опубликована развернутая статья по этим сличениям и участию в них ИЦ ВНИСИ, а с соответствующим отчетом (с результатами сличений) можно ознакомиться на сайте МЭА: <http://ssl.iea-4e.org/testing-standards>.



Рис. 4. Автоматизированный вибростенд (Германия)

ПАМЯТИ АНДРЕЯ ИВАНОВИЧА РЫМОВА (11.08.1924–25.03.2016)



Ушёл из жизни старейший сотрудник ООО «ВНИСИ», участник Великой Отечественной войны, кандидат технических наук Андрей Иванович Рымов.

А.И. Рымов внёс существенный вклад в развитие фотометрического и колориметрического приборостроения, разработку облучательных установок со сверхмощными ксеноновыми лампами (для испытаний космической техники) и средств управления светотехническими параметрами облучателей.

Андрей Иванович был разносторонним человеком: любил лыжи, турпоходы и до последнего времени играл на гитаре, пел, оставался душой компании.

Память об А.И. Рымове, классном специалисте-светотехнике, солдате Великой Отечественной войны и замечательном товарище останется навсегда в наших сердцах.

**Редколлегия и редакция
журнала,
сотрудники ООО «ВНИСИ»,
коллеги и друзья**

**П.А. Федорищев, ООО «ВНИСИ
им. С.И. Вавилова»**

Испытательная лаборатория Государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси»



Испытательная лаборатория Государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси» (далее – ИЛ «ЦСОТ НАН Беларуси») является структурным подразделением Государственного предприятия «ЦСОТ НАН Беларуси»¹, которое, в свою очередь, является государственным юридическим лицом и на 100% находится в ведении Национальной академии наук Беларуси. Таким образом, ИЛ «ЦСОТ НАН Беларуси» независима от каких-либо производителей светотехнической продукции.

ИЛ «ЦСОТ НАН Беларуси» является официальной лабораторией Национальной академии наук Беларуси и ак-

¹ Полное название предприятия – Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси».

кредитована Национальным органом по аккредитации (Государственным предприятием «БГЦА») на техническую компетентность и независимость проведения испытаний (аттестат аккредитации ВУ/11202.1.0.1714 от 13.08.2012).

ИЛ «ЦСОТ НАН Беларуси» была создана в 2010 г. и за прошедшие 6 лет накопила значительный опыт измерения светотехнических характеристик ламп и световых приборов разного назначения.

Лаборатория имеет современную испытательную базу и квалифицированный обученный персонал, регулярно участвует во внутривнутриреспубликанских сличениях.

Лаборатория укомплектована оборудованием компаний *Instrument Systems*, *Optronik* и *Leica* (Германия), *Agilent* и *Keithley* (США), *Laplace Instruments* (Великобритания), «ТКА» и «Эколайт» (РФ), *Minolta* (Япония), *Flir* (Швеция) и др.

Основное приборное оборудование для измерения абсолютных световых характеристик ламп и светильников:

1. Гониофотометр *SMS10c* (*Optronik*, Германия), введённый в эксплуатацию в 2010 г. Он позволяет измерять КСС с шагом от 0,5°. Погрешность показаний фотометра: (4,2±5,2)%. Расширенная неопределённость измерений углов: 0,7°. Измерительные расстояния: 3,162 м, 10 и 25 м. Это позволяет проводить испытания светильников разного назначения, светофоров, прожекторов с малым углом рассеяния и др. световых приборов.

2. Спектрорадиометрическая система *CAS140CT* (*Instrument Systems*, Германия), введённая в эксплуатацию в 2015 г. Она содержит интегрирующую сферу диаметром 2 м и позволяет измерять спектр излучения и световой поток ламп и светильников с дальнейшим расчётом таких

характеристик, как координаты цветности, коррелированная цветовая температура, общий и частные индексы цветопередачи и др. Погрешности измерения светового потока и координат цветности: (3,1±2,0)% и 0,001±0,004 соответственно.

3. Прецизионный источник-измеритель *Agilent 6812B*, используемый для питания образцов, и анализатор *AC2000A* (*Laplace Instruments*) – для измерения электрических характеристик образцов (активной мощности, коэффициента мощности, гармонического состава тока, дозы фликера и др.).

Кроме того, лаборатория располагает спектрорадиометрической системой тестирования светодиодов, светодиодных модулей и дисплеев *DTS320*, в состав которой входят сканирующий спектрорадиометр *SPECTRO 320* (190–900 нм), интегрирующая сфера диаметром 0,5 м, зонд освещённости *LED25–100*, телескоп *TOP100* (зонд яркости), гониометр *LEDGON100*, автоматизированный позиционер *DTS500* (*Instrument Systems*), источники питания и мультиметры *Keithley* моделей 2400, 2010 и 2510. Дополняют испытательную базу лаборатории тепловизионная ИК-камера *A325* (*Flir*), две климатические камеры (тепло, холод, влага) *MNU-1000 CSSA* (*TERCHY*), комплекс для испытаний светового оборудования на ЭМС *ALECS-3-H* (*Laplace Instruments*), люксметры и яркометры производства *Testo*, *Minolta*, «ТКА» и «Эколайт».

Испытательное оборудование и средства измерений, используемые для испытаний светотехнической продукции, проходят периодическую аттестацию, поверку или калибровку в РУП «БелГИМ» (Белорусский государственный институт метрологии).

Лаборатория имеет эталонные лампы СПЭО, СПЭЯ, светового потока (*PTB*, *Instrument Systems*, *Osram*) и прецизионное оборудование для питания и контроля характеристик ламп. Это оборудование применяется для спектральной и абсолютной калибровки спектрорадиометрического оборудования лаборатории по мере необходимости, но не реже 1 раза в год.

Сотрудники лаборатории получили сертификаты обучения в компаниях *Instrument Systems* и *Optronik*.

Объём выполняемых работ в лаборатории постоянно растёт. В последние годы количество протоколов испытаний светильников и ламп ежегодно удваивалось. С момента аккредитации лаборатория не имеет ни одной претензии к качеству выполняемых работ.



МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2016 ГОДУ (II ПОЛУГОДИЕ)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
30.08–04.09	АГРОРУСЬ - 2016 Международная агропромышленная выставка-ярмарка	Санкт-Петербург www.exponet.ru
14.09–16.09	ELECTRIC & POWER VIETNAM 2016 6-я Международная выставка электроустановок, технологий передачи и распределения электроэнергии, освещения	Хошимин, Вьетнам http://solbylab.ru
21.09–23.09	Российский промышленник 2016 20-й Международный форум «Российский промышленник»	Санкт-Петербург http://promexpo.expoforum.ru
25.09–28.09	LICHT 2016 Международная светотехническая конференция немецкоговорящих стран	Карлсруэ, Германия http://licht2016.eu
04.10–07.10	Энергосбережение и энергоэффективность. Инновационные технологии и оборудование – 2016 8-я Международная специализированная выставка	Санкт-Петербург www.exponet.ru
06.10–07.10	Световой дизайн 2016 Международная научно-практическая конференция	Санкт-Петербург http://cld.ifmo.ru/
11.10–13.10	BELEKTRO 2016 Международная выставка электротехники, электроники, освещения	Берлин, Германия http://solbylab.ru
12.10–14.10	SMART ENERGY EXPO 2016 Международная выставка по энергетике, энергоэффективности и энергосбережению	Верона, Италия http://solbylab.ru
25.10–27.10	ExpoCoating Moscow - 2016 Международная выставка технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий	Москва, Россия www.exponet.ru
	Lighting Kazakhstan 2016 6-я Казахстанская Международная выставка «Освещение, светотехника и светодиодные технологии»	Алматы, Казахстан www.powerexpo.kz/ru
	Power Kazakhstan 2016 15-я Казахстанская Международная выставка и Форум энергетиков «Энергетика, Электротехника и Энергетическое Машиностроение»	
	ReEnergy Kazakhstan 2016 6-я Казахстанская Международная выставка «ВИЭ, Энергосбережение, Энергоэффективность и Ресурсосбережение»	
01.11–03.11	Hi-Tech Building 2016 15-я Международная выставка по автоматизации зданий. Конференция «Интеллектуальное здание»	Москва, Россия http://hitechbuilding.ru
08.11–11.11	Interlight Moscow powered by light+building 2016 22-я Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий	Москва, Россия www.interlight.messefrankfurt.ru

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ



Холдинг **BL GROUP**



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ПЛАТИНОВЫЕ



ГЛОБАЛ
ЛАЙТИНГ

ЗОЛОТЫЕ

FAGERHULT



СЕРЕБРЯНЫЕ



БРОНЗОВЫЕ



TENZOSENSOR



СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ



НОВИНКИ GALAD ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДОВ



GALAD URBAN LED
от 32 Вт
до 130 лм/Вт

Первый в мире светильник –
«КОНСТРУКТОР»



СВЕТИЛЬНИКИ ДЛЯ ГОРОДА
УМНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОНТАЖ

INTERLIGHT 2015
10-13.11.15 ЭКСПОЦЕНТР F.C80 FORUM





«LiCS Indoor» – интеллектуальная система управления освещением

LiCS Indoor System

- СИСТЕМА ОСНОВАНА НА ПРОТОКОЛЕ DALI
- 3 ЛИНИИ ДЛЯ РАЗНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ
- ПРОСТАЯ НАСТРОЙКА БЕЗ ПК ИЛИ СИСТЕМЫ ШИН ВЫСШЕГО ПОРЯДКА
- 3 МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДАТЧИКА В ОЧЕНЬ КОМПАКТНЫХ КОРПУСАХ
- РАСШИРИТЕЛЬ ПОВЫШАЕТ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ



LiCS Indoor System Network

- СЕТЕВАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ DALI СИСТЕМЫ ВРЕМЕНИ
- НИЗКИЕ ЗАТРАТЫ НА УСТАНОВКУ И МОНТАЖ
- SMART УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ «TOUCHLIGHT» В ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОМ ИНТЕРФЕЙСЕ
- АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СБОЕВ
- МОНИТОРИНГ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

 Easy plug-and-play, quick configuration
  Reporting

 IP networking Light Controllers
  Tablet, Smartphone

