ISSN 0039-7067

СВЕТОТЕХНИКА

3·2016

СВЕТОТЕХНИКА 3·2016

BOOS LIGHTING GROUP

Направления деятельности:

Проектирование
Производство
Монтаж
Управление освещением
Эксплуатация
Дистрибьюция

Холдинг БЛ ГРУПП — крупнейшее отечественное объединение на светотехническом рынке

www.bl-g.ru

LIGHTING SOLUTIONS

ГЛОБУС ГУРМЭ

МОСКВА,
КУТУЗОВСКИЙ ПР-Т, 48

«Глобус Гурмэ» – это гастроном с широким выбором деликатесов, входящий в список лучших гастрономических магазинов мира. Ассортимент гастрономов насчитывает более 10000 наименований товаров, среди которых заметную долю составляют продукты питания, представляемые в витринах. Это мясо, рыба, хлебобулочные изделия, шоколад ручной работы, торты, продукция кулинарии. Для продажи этого ассортимента требуется правильная подсветка.

Компания Vossloh-Schwabe производит светодиодные модули, предназначенные для подсветки продуктов питания. Для каждой группы товаров специалистами компании были разработаны светодиоды со своей цветовой температурой и спектром. Во всех витринах гастронома люминесцентные лампы были заменены на светодиодные светильники. В проекте использованы светодиодные модули LED Line AluFix LUGA FOOD со специальной оптикой и алюминиевым профилированным основанием для удобства установки в готовые витрины. Данные линейные модули изготовлены по технологии COB, что позволяет получить ровную, а не точечную засветку.

- LED Line AluFix LUGA FOOD – тепло-белый цвет для хлеба, фруктов, овощей, сыра
- LED Line AluFix LUGA FOOD – нейтрально-белый цвет для рыбы
- LED Line AluFix LUGA FOOD – «эффект розового» для красного мяса
- LED Line AluFix LUGA FOOD – «эффект белого» для мяса птицы
- LED Line AluFix LUGA FOOD – PearlWhite для шоколада

Мощность каждого модуля длиной 1,15м – 46Вт.

LED Line AluFix – LUGA

- **БОЛЬШОЙ СРОК СЛУЖБЫ: ДО 55 000 ч (L90, B10)**
- **КОМПАКТНАЯ И НАДЕЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ**
- **ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА: ДО 157 лм/Вт**
- **СПЕЦИАЛЬНЫЙ СПЕКТР С ШИРОКОЙ ЦВЕТОВОЙ ГАММОЙ**
- **ТОЧНОСТЬ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ: 3 SDCM**
- **COB ТЕХНОЛОГИЯ (ЧИП-НА-ПЛАТЕ)**
- **5 ВАРИАНТОВ РАЗМЕРОВ: 305 ММ / 586 ММ / 867 ММ / 1148 ММ / 1429 ММ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с января 1932 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ю.Б. Айзенберг, шеф-редактор, д.т.н., проф., академик АЭН РФ
С.Г. Ашурков, зам. главного редактора, к.т.н.
А.С. Шаракшанэ, зам. главного редактора, к.ф.-м.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. Будак, 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. Пятигорский, 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-tekhnika.ru
Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

И.о. главного редактора
А.С. Шаракшанэ
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 18.05.2016
Подписано в печать 23.06.16
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

Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б., Коробко А.А., Пятигорский В.М. Несколько нереализованных конструктивных решений оптических схем и осветительных систем с полыми световодами 4

Вагин Г.Я., Малафеев О.Ю., Мартынюк М.В. Исследование парка источников света, оценка электропотребления и потенциала экономии электроэнергии в системах освещения России 12

Дзошкун С., Сёкмэн К.Ф., Яманкарадениз Н. Гидродинамическое исследование разновидностей переноса тепла в противотуманной автофаре 22

Боос Г.В., Григорьев А.А. О координатах цветности основных цветов колориметрической системы КЗС 30

Кранич Б., Саволи Ж., Хорват А. Реконструкция спектра по координатам цвета методами анализа главных компонентов и генетической оптимизации 35

Будак В.П., Мешкова Т.В. Модели зрительного дискомфорта от блёсткого источника 43

Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И. Проект определения фотометрических характеристик осветительных приборов на основе спектрорадиометрических измерений в Испытательном центре «ВНИСИ» 48

Павлак А. Сравнение результатов компьютерного моделирования эвакуационного освещения 51

Павлов Н.Л. О цветовом представлении природных основ жизни 57

Потапова Н.В. Копилка светлых идей 61

Осиков М.В., Гизингер О.Г., Огнева О. И, Бокова О.Р., Чудинова В.Г. Сравнительный анализ влияния искусственного освещения на поведенческую активность экспериментальных животных 66

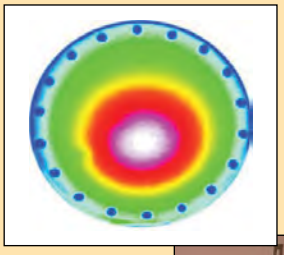
ДИСКУССИИ

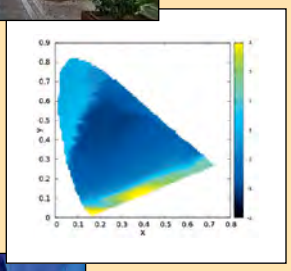
Щепетков Н.И. К выходу очередного пособия Москомархитектуры по комплексному благоустройству и освещению Москвы 73

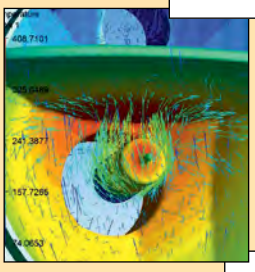
3 • 2016

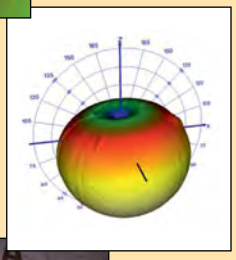
МАЙ • ИЮНЬ

СВЕТОТЕХНИКА









СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пашковский Р.И. Панель противопожарных устройств здания 76

ХРОНИКА

Модернизация уличного освещения в Лиссабоне 50

Миллионная световая точка для российских теплиц 65

Победа LED 65

Thorn освещает французские футбольные стадионы для финала ЕВРО 2016 72

Поздравляем

С.Г. Ашуркова 21

Р.И. Пашковского 34

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Аккредитованная испытательная лаборатория ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» 55

Регистрация новой торговой марки *Wunschleuchten* 78

4-й Симпозиум МКО по цветовому и визуально воспринимаемому облику 79

ЕВРО 2016 на стадионе *Allianz*-Ривьера в Ницце **1 с. обл.**

Холдинг БЛ ГРУПП – крупнейшее отечественное объединение на светотехническом рынке **2 с. обл.**

ГЛОБУС ГУРМЭ оснащены СД модулями *Vossloh Schwabe* 1

Программа «Light in Night Road» **3 с. обл.**

«***Smart Lighting***» – Разумный свет – в любое время **4 с. обл.**

Несколько нереализованных конструктивных решений оптических схем и осветительных систем с полыми световодами*

Ю.Б. АЙЗЕНБЕРГ[1], *Г.Б. БУХМАН*, *А.А. КОРОБКО*[1], *В.М. ПЯТИГОРСКИЙ*[1]

[1] ООО «ВНИСИ», Москва
E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Аннотация

В статье приведены варианты использования полых световодов для освещения различных объектов: арочных надувных сооружений, зданий, бассейнов, тоннелей, шахт лифтов, помещений с карнизами и др., а также ряд конструктивных решений систем освещения с полыми световодами.

Ключевые слова: световод, полый световод, щелевой световод, интегральная система освещения.

1. Ведение

Все материалы, представленные в этой статье, были опубликованы на английском языке в книге Ю.Б. Айзенберга «*Hollow Light Guides*» [1]. Большая часть конструктивных решений запатентована в России и в некоторых западноевропейских странах. В основу некоторых из приведённых ниже схем были положены результаты светотехнических расчётов, продемонстрировавших их эффективность.

2. Арочные надувные световоды

В последнее время надувные конструкции нашли широкое применение при сооружении спортивных залов, производственных помещений, магазинов, полевых госпиталей и т.д. Эластичная оболочка надувного здания сохраняет свою форму благодаря избыточному давлению внутри неё. Внутреннее освещение этих сооружений превращается в настоящую проблему, так как внутри оболочки довольно трудно и небезопасно прокладывать электропроводку и подвешивать светильники. В этом случае можно воспользоваться арочными надувными щелевыми световодами (встроенными в оболочку), выступающими в роли несущих и формообразующих конструкций [2]. Эта система обладает следующими достоинствами: световоды играют роль несущей конструкции сооружения; электрические провода прокладываются не внутри оболочки (их можно прокладывать в земле); вводные устройства расположены внизу, что облегчает техническое обслуживание и замену ламп. Световод может быть частью оболочки.

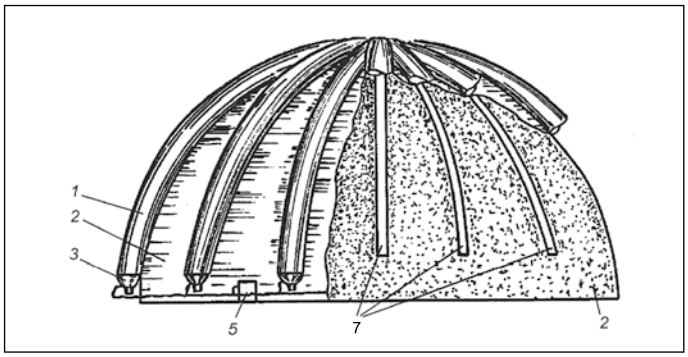


Рис. 2. Полусферическое сооружение с арочными надувными световодами

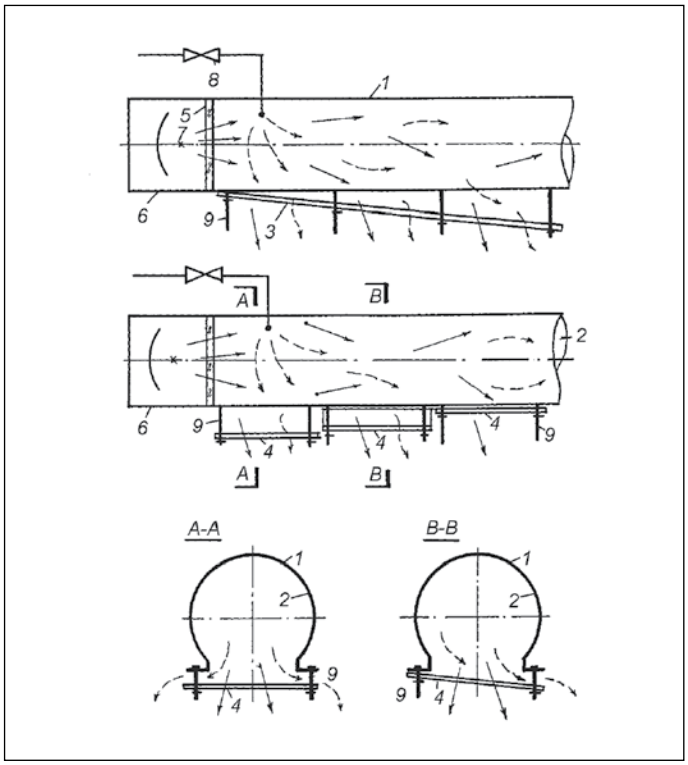


Рис. 3. Световод-воздуховод

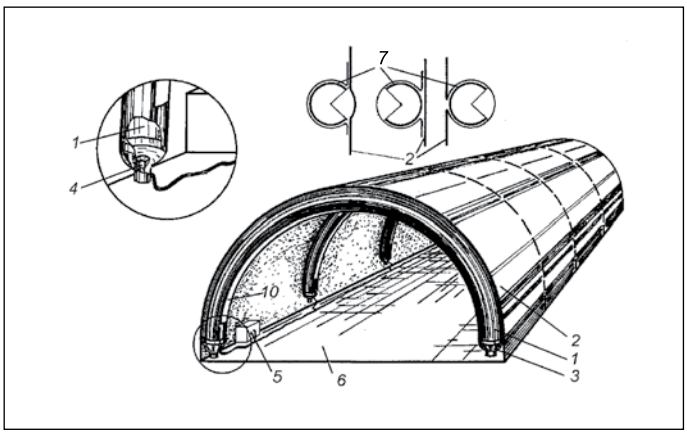


Рис. 1. Цилиндрический арочный надувной световод

* Перевод с англ. Е.И. Розовского

Примеры конструкций цилиндрической и полусферической формы приведены на рис. 1 и 2, где 1 – щелевой световод; 2 – оболочка сооружения; 3 – вводное устройство; 4 – источник света; 5 – электрический блок; 6 – освещаемая поверхность; 7 – оптическая щель. При использовании световодов необязательно сооружать шлюз с компрессором, который создавал бы избыточное давление во всём помещении.

3. Световод-воздуховод

Так как полый световод – это, в принципе, трубка довольно большого диаметра (до 1 м), то его можно использовать и для подвода очищенного воздуха, то есть в качестве и световода, и воздуховода. Экспериментальная установка была создана на одном из подмосковных заводов. Эта совмещённая инженерная система может найти очень интересное и перспективное применение. Она состоит из следующих элементов (рис. 3): 1 – оболочка жёсткого щелевого световода; 2 – световод; 3 – оптическая щель; 4 – часть оптической щели с регулируемым зазором для формирования струи воздуха; 5 – прозрачное защитное стекло; 6 – отсек вводного устройства; 7 – источник света; 8 – воздухоочиститель; 9 – винты для регулирования положения оптической щели.

4. Ввод дневного света в здание

Ниже предложены интегральные системы освещения для следующих трёх объектов: высокое одноэтажное здание, подземное помещение и свободное помещение (глубокое помещение без перегородок) в остеклённом по периметру здании. При этом должны быть удовлетворены следующие требования:

- следует использовать простейший герметизированный гелиостат;
- для переноса и перераспределения естественного и искусственного света следует использовать одни и те же устройства;
- количество «узлов», в которых осуществляется оптическое преобразование света, должно быть сведено к минимуму;
- нуждающиеся в техническом обслуживании электрические устройства должны быть вынесены за пределы помещения;
- следует исключить нагрев, вызываемый солнечным светом или электрическими лампами;
- размеры отверстий, через которые свет попадает в помещение, должны быть сведены к минимуму.

На рис. 4 и 5 приведены оптические схемы предлагаемых установок. На рис. 4 показана интегральная система освещения для высокого одноэтажного здания. Эта система включает в себя гелиостаты, проходящие сквозь стены переносящие свет устройства (с источниками света) и полые световоды с распределяющими свет устройствами, имеющими форму светящихся дисков, прямоугольников или полос. Результаты расчётов подтверждают, что в случае зданий высотой 8–10 м, расположенных в климатической зоне Центральной Европы, эта система способна обеспечить освещённость 340–400 лк на участке размером 150–250 м^2 (в зависимости от размеров гелиостата и количества источников света).

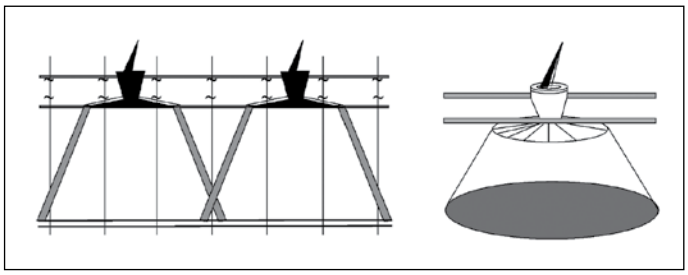


Рис. 4. Интегральная система освещения высокого одноэтажного здания

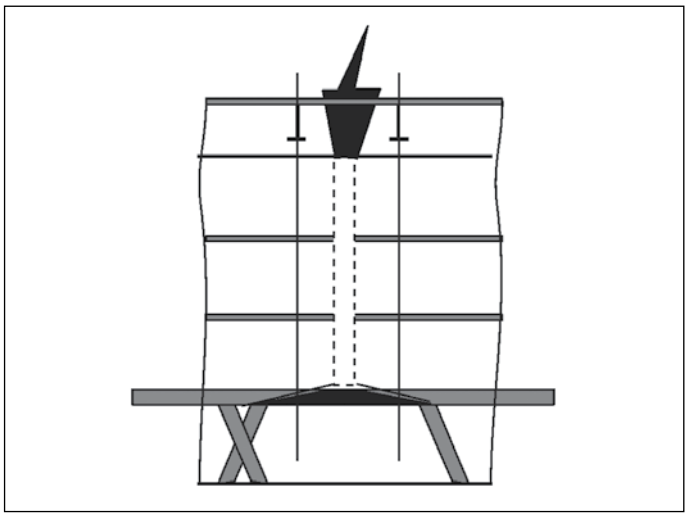


Рис. 5. Интегральная система освещения подземного помещения

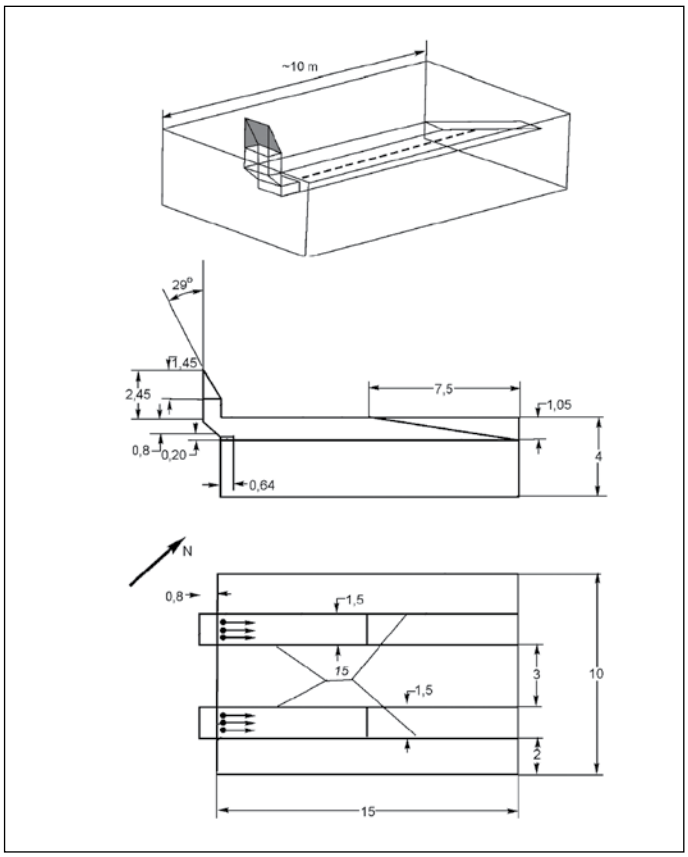


Рис. 6. Интегральная система освещения открытого помещения (с задними стенами, расположенными на расстоянии 10 м от окон). Все размеры приведены в метрах

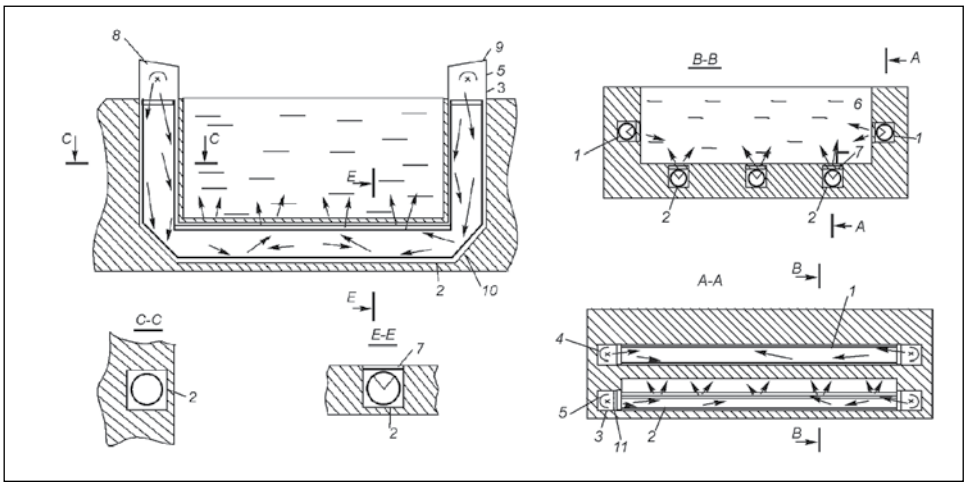


Рис. 7. Подводное освещение ванны бассейна: 1 – ниша в стенке ванны бассейна; 2 – щелевой световод; 3 – полость для вводного устройства; 4 – вводное устройство; 5 – отражатель; 6, 7 – защитные стёкла; 8, 9 – стартовые тумбы; 10 – угловое зеркало; 11 – цветной светофильтр

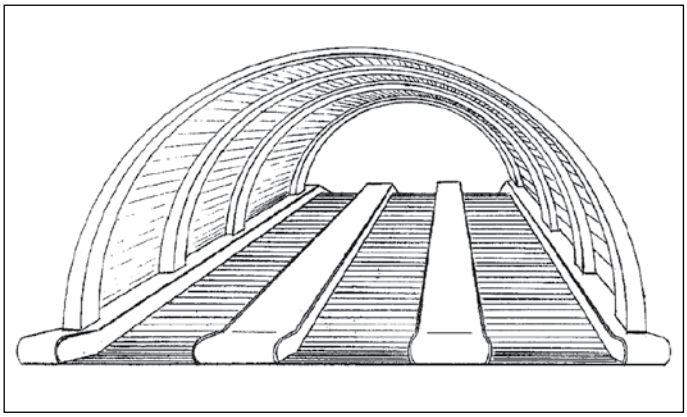


Рис. 8. Арочный световод в тоннеле эскалатора

В случае подземных помещений эта система освещения должна быть дополнена вертикальным световодом, имеющим нужные высоту и диаметр (рис. 5, пунктирная линия).

На рис. 6 изображена система, предназначенная для освещения свободных помещений, у которых задняя стена расположена на расстоянии 10–20 м от окон. Расчёты показывают, что в офисе глубиной 17 м с низким потолком система с полым световодом обеспечивает уровень освещённости 300 лк [3].

5. Освещение бассейнов

Обычно светильники размещаются над ванной бассейна, но иногда система освещения включает в себя ещё и подводные светильники, утопленные в боковые стенки для подсветки воды изнутри. Эти светильники трудно обслуживать. Чтобы добраться до светильника при замене ламп необходимо осушить ванну бассейна. Кроме того, герметичные светильники для подводного освещения имеют сложную конструкцию.

Мы предлагаем систему освещения, позволяющую:

- обеспечить динамическое изменение подводного освещения;
- с лёгкостью производить техническое обслуживание светильников;
- по-новому посмотреть на системы освещения бассейнов.

Вводные устройства *3* и *4* (см. рис. 7 и 8) можно поместить за торцевыми стенками ванны бассейна в прилегающих помещениях или в стартовых тумбах *8, 9*. В последнем случае используются соединённые под углом световоды *10*. Свет может иметь постоянный или переменный цвет. Это можно обеспечить при помощи системы управления, цветных ламп, цветного корпуса световода, цветных стёкол в нишах боковых стенок или цветных светофильтров *11* между вводными устройствами и входными отверстиями световода. Свет, подаваемый в противоположные концы световода, также может иметь разный цвет. В некоторых случаях внутренний объём световода можно наполнить прозрачной жидкостью например, водой. При этом имеет место важный и интересный оптический эффект: при движении в одном направлении пловец видит светящуюся полосу одного цвета, а при движении в противоположном направлении – светящуюся полосу другого цвета.

6. Освещение тоннелей

Система освещения может включать в себя клиновидные световоды, формирующие в тоннеле светящиеся арки (рис. 8, 9). Для покрытия внутренней поверхности световода можно использовать призматическую плёнку.

7. Системы освещения для наклонных тоннелей эскалаторов метро

Цилиндрические полые световоды можно установить над балюстрадами эскалатора и сформировать непрерывные светящиеся линии, имеющие такой же угол наклона, как и сам наклонный тоннель. Эти линии, а также вводные устройства, поддерживаются вертикальными опорами, установленными на балюстрадах. Эти опоры должны иметь достаточную высоту, позволяющую обеспечить равномерное освещение ступеней эскалатора. Они также могут представлять собой полые световоды с источниками света, расположенными в основаниях этих опор (рис. 10).

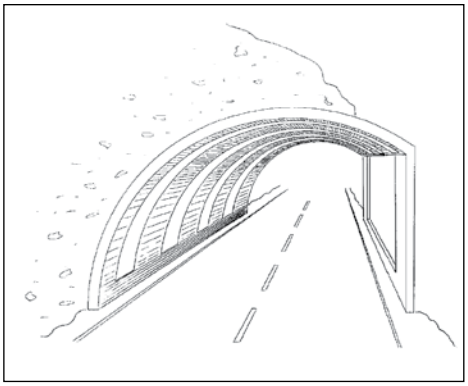


Рис. 9. Арочный световод в открытом тоннеле

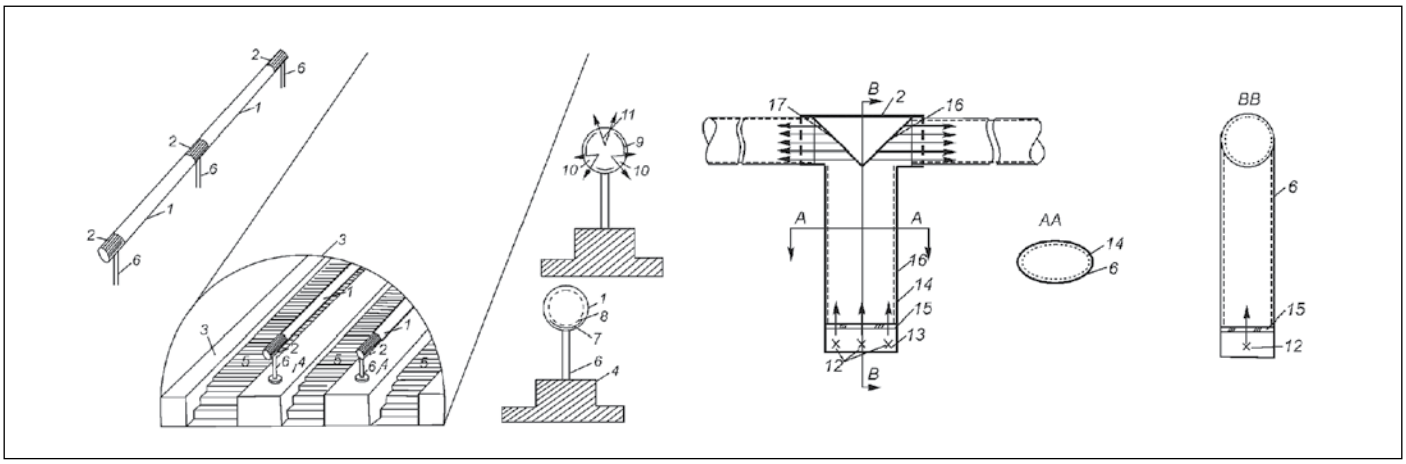


Рис. 10. а) Система освещения наклонного тоннеля эскалатора. б) Световедущая опора для световода: 1 – полый световод; 2 – вводное устройство; 3,4 – боковые балюстрады эскалатора; 5 – ступень эскалатора; 6 – опора световода; 7 – рассеивающий свет корпус световода; 8 – плёнка *SOLF**; 9 – внутренние отражатели; 10 – боковое выходное отверстие; 11 – верхнее выходное отверстие; 12 – источник света; 13 – лампа для аварийного освещения; 14 – входной световод (металлическая опора); 15 – защитное стекло; 16 – плёнка *SOLF*; 17 –распределяющее свет зеркало

* Призматическая плёнка *SOLF* (*Scotch Optical Lighting Film*) производится компанией *3M*, США.

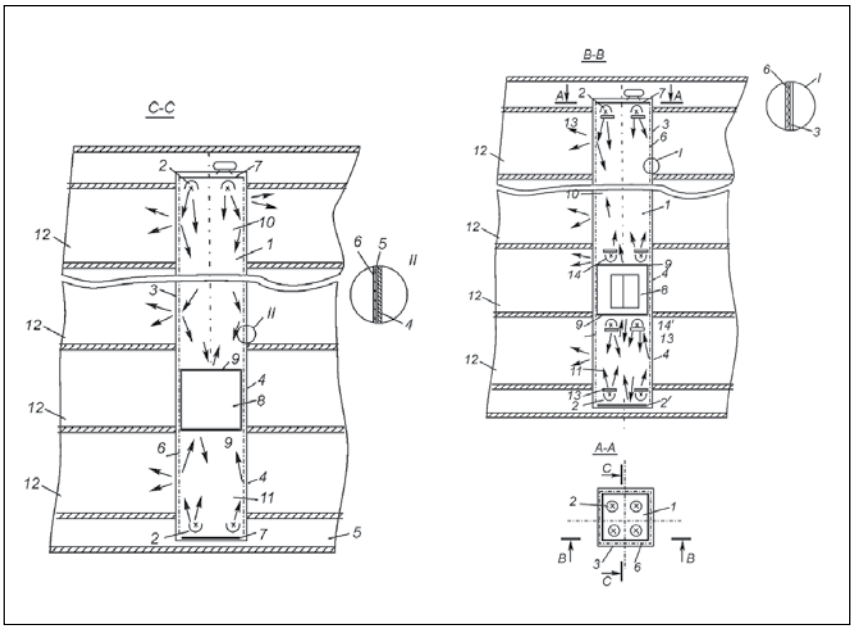


Рис. 11. Декоративное освещение шахты лифта: 1 – шахта лифта; 2 – светильники с узкими световыми лучами; 3 – защитная сетка; 4 – прозрачное акриловое стекло; 5 – подвал; 6 – плёнка *SOLF*; 7 – зеркало; 8 – кабина лифта; 9 – зеркало; 10, 11 – верхняя и нижняя части шахты лифта; 12 – полы лестничных клеток; 13 – цветные светофильтры

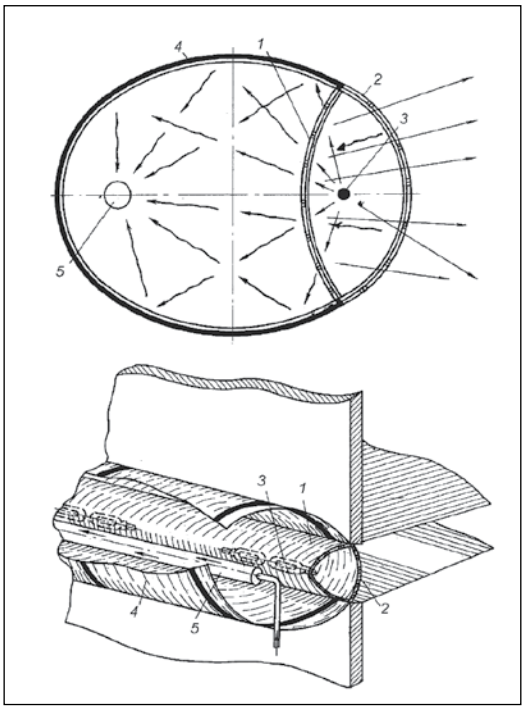


Рис. 12. Вводное устройство для ввода в световод «холодного» света и использования тепла

8. Освещение шахты лифта

Задача состоит в том, чтобы обеспечить динамическое освещение, связанное с движением кабины лифта (рис. 11). Кабина лифта играет роль «поршня» для света. Когда кабина приближается к какому-то участку прозрачной стенки шахты лифта, яркость последней возрастает. И наоборот, когда кабина удаляется от этого участка, яркость последнего уменьшается. Находящийся в кабине лифта или на лестнице наблюдатель получает информацию о том, что кабина лифта приближается или удаляется.

Для усиления производимого освещением эффекта можно использовать разные цвета для освещения верхней и нижней секций шахты. Для этого можно воспользоваться имеющими разные спектры излучения источниками света или цветными светофильтрами, перекрывающими выходные отверстия светильников. Например, если красный свет выбирается для освещения верхней части шахты, а зелёный – для освещения её нижней части, то расположенная выше кабины часть шахты и соответствующие лифтовые холлы и лестница будут красными, тогда как холлы и лестница, расположенные ниже кабины, будут зелёными. Если кабина минует какой-то этаж, двигаясь, например, вниз, то при приближении кабины лифтовый холл на этом этаже будет освещаться постепенно усиливающимся зелёным светом, а при удалении

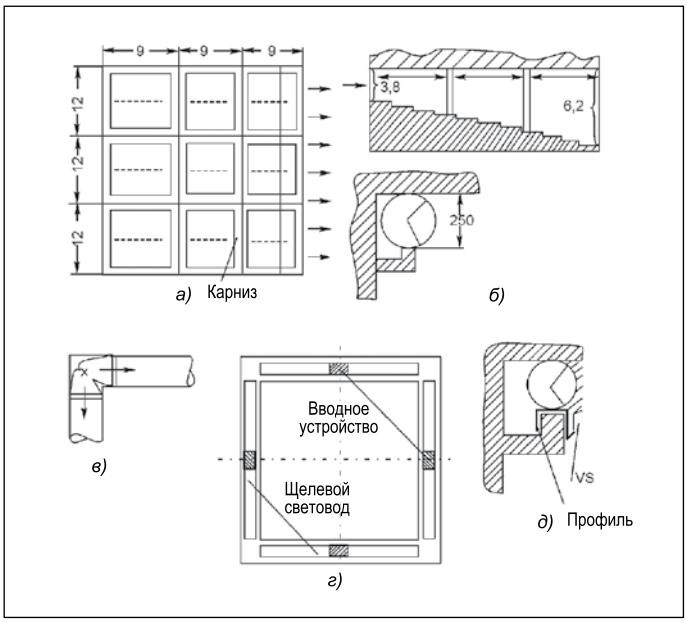


Рис. 13. Карнизное освещение с полым световодом

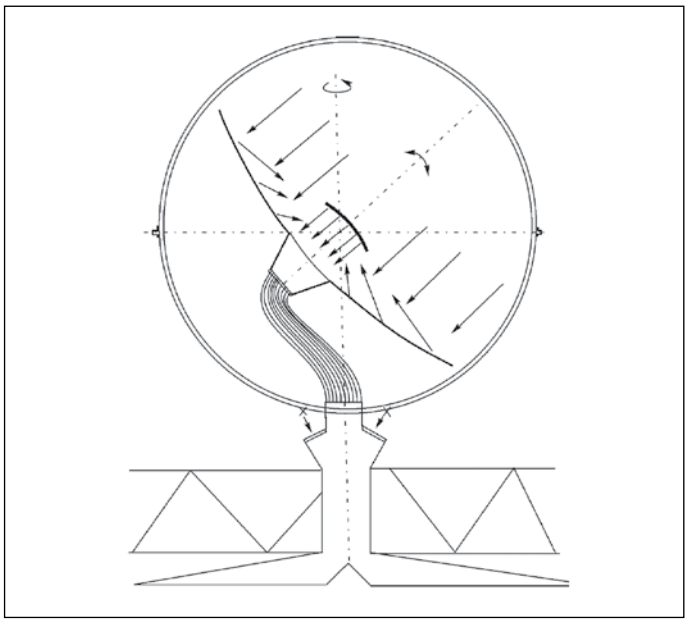


Рис. 16. Гелиостат с оптической системой Кассегрена (вариант 1)

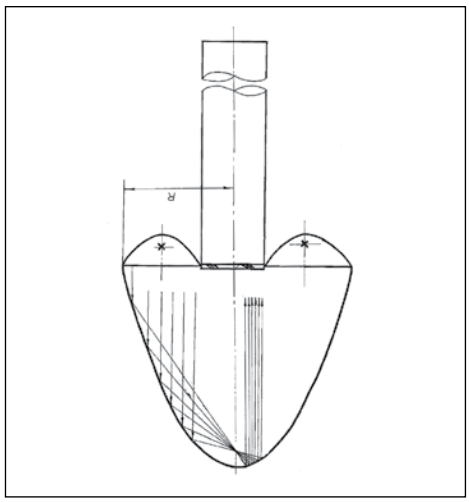


Рис. 14. Оптическая схема ввода световых потоков нескольких источников света в световод относительно малого диаметра (с использованием глубокого параболического отражателя)

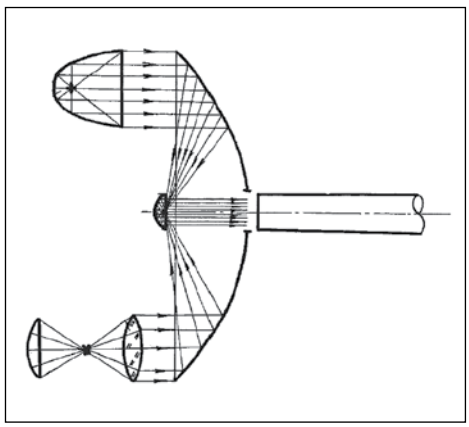


Рис. 15 Оптическая схема ввода световых потоков нескольких источников света в световод относительно малого диаметра (с использованием неглубокого параболического отражателя)

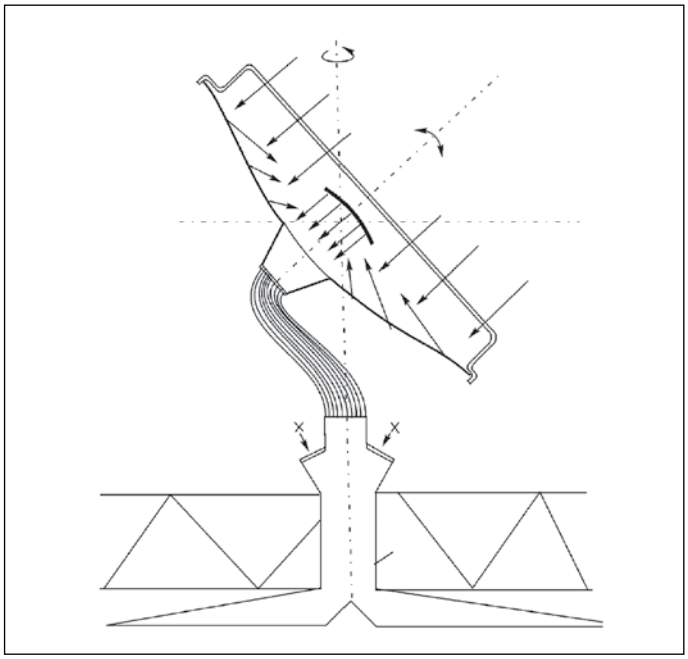


Рис. 17. Гелиостат с оптической системой Кассегрена (вариант 2)

кабины он будет освещаться постепенно ослабевающим красным светом.

Для увеличения интенсивности света в шахте над кабиной и под ней можно установить дополнительные источники света. В этом случае при использовании цветовых эффектов источники света во всех секциях шахты должны иметь одинаковые спектры излучения.

9. Ввод в световод «холодного» света и использование тепла

Для ввода в плоский световод «холодного» света и использования тепла, выделяемого мощными источниками света, предлагается система, показанная на рис. 12. Эта система включает в себя: зеркальный отражатель *4*, имеющий форму эллиптического цилиндра [4]; линейные газоразрядные лампы *3*, расположенные вдоль первой фокальной оси отражателя; теплообменник *5*, расположенный вдоль второй фокальной оси отражателя; куполообразное выходное отверстие *2*, закрытое стеклом с многослойным интерференционным покрытием, которое пропускает «холодный» свет и отражает назад ИК излучение; стеклянную перегородку *1* с многослойным интерференционным

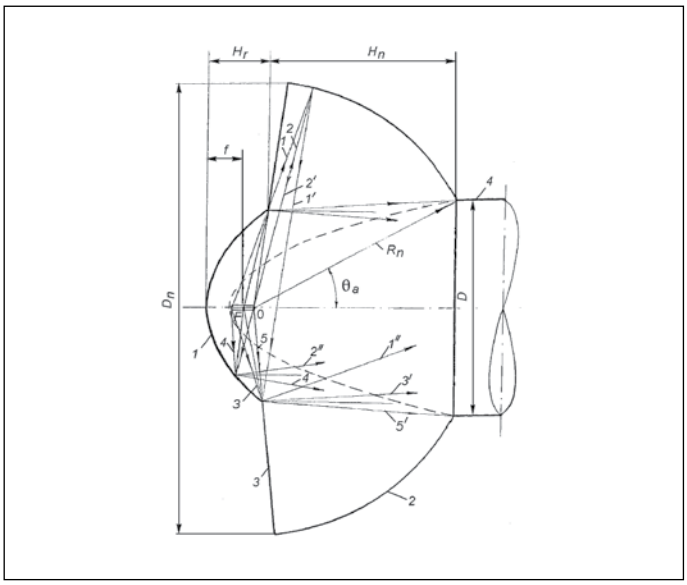


Рис. 18. Оптическая система с параболическим отражателем и сферической приставкой

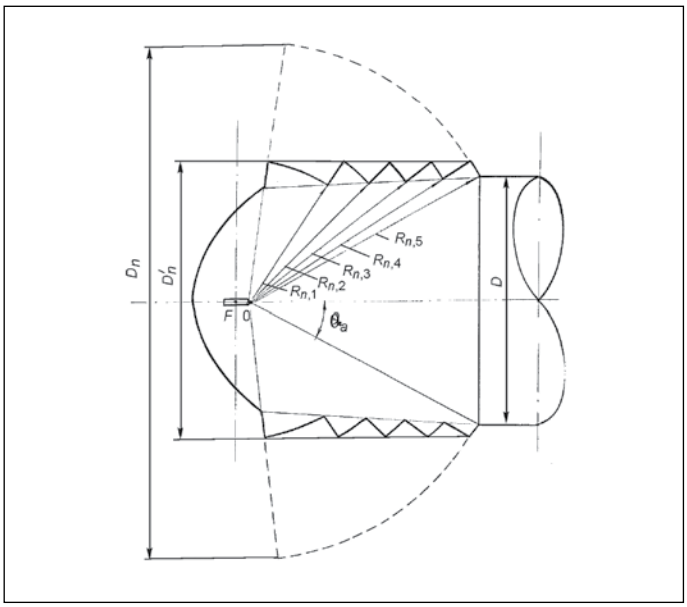


Рис. 19. Оптическая система с параболическим отражателем и приставкой в виде совокупности нескольких сферических колец

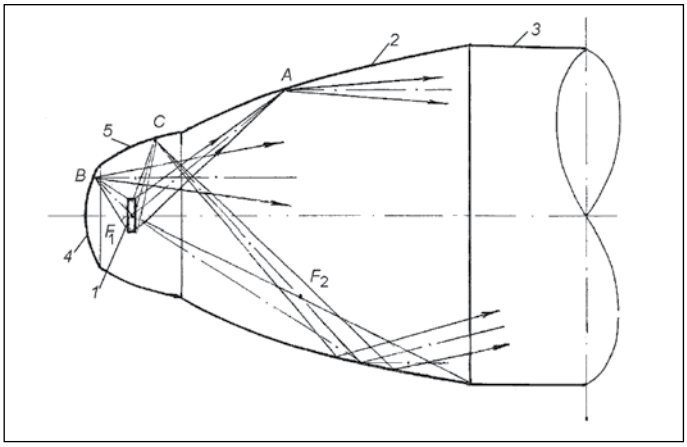


Рис. 20. Ход лучей в оптической системе с двумя параболическими одним эллиптическим отражателями

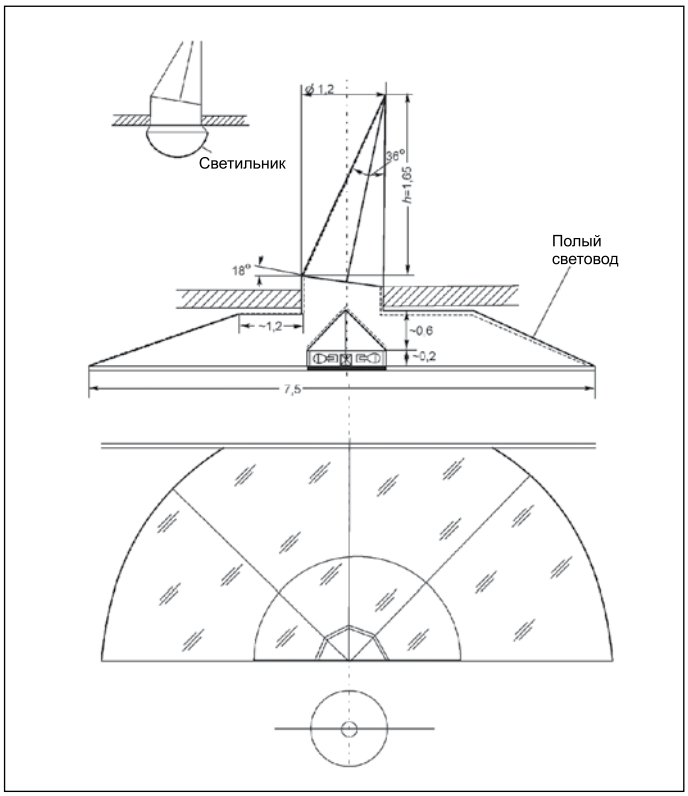


Рис. 21. Система с гелиостатом для универмага

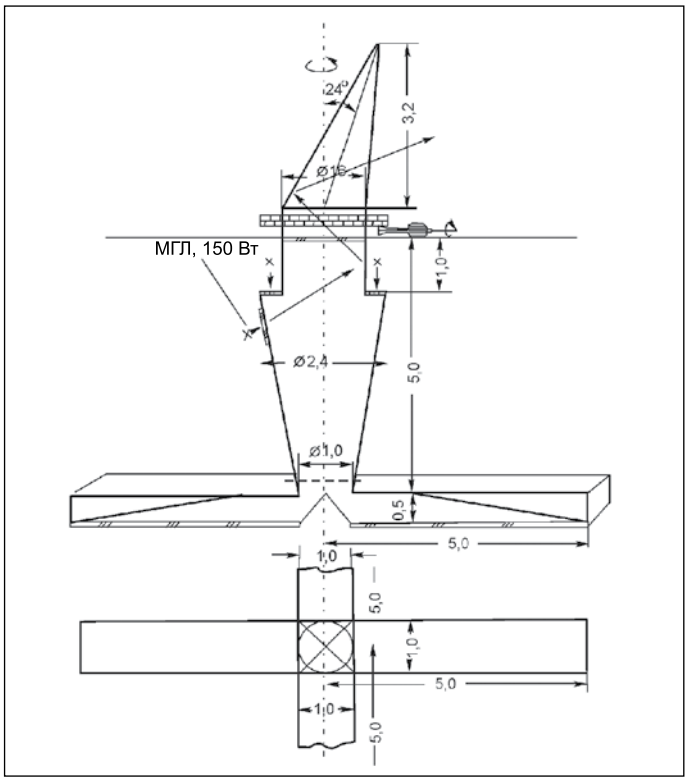


Рис. 22. Система с гелиостатом, вращающимся вокруг вертикальной оси

покрытием, которое пропускает падающее снаружи ИК излучение, отражённое куполом *2*, и падающий изнутри «холодный» свет. В результате генерируемое лампами ИК излучение концентрируется в районе второй фокальной оси и нагревает трубку, по которой течёт вода. В световод

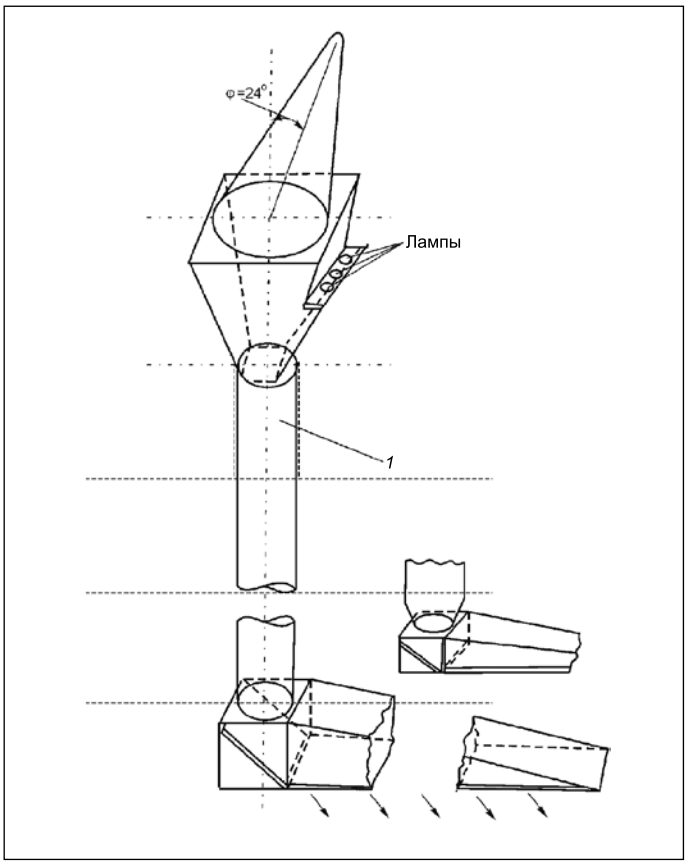


Рис. 23. Система с гелиостатом и горизонтальным плоским полым световодом

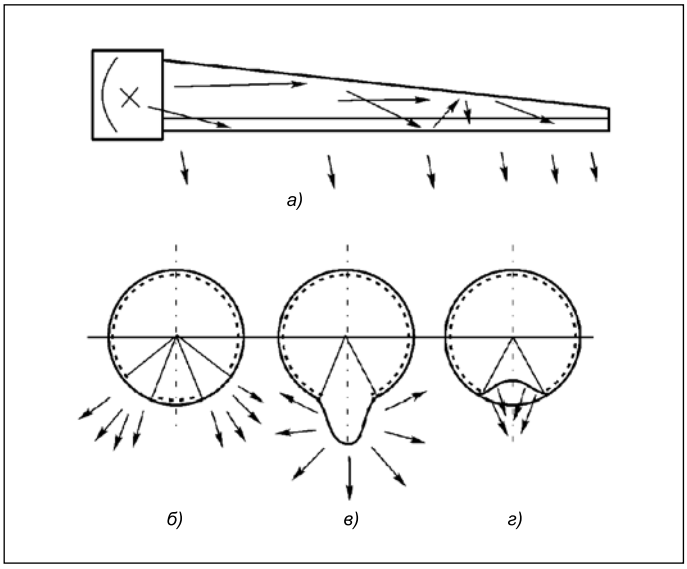


Рис. 24. Декоративный световод (а) с двумя щелями (б), с носовидной щелью (в) и с зубовидной щелью (г)

поступает только УФ и видимое излучение, которое освещает окружающее пространство [4].

10. Карнизное освещение

Использование полых световодов позволяет изменить привычное карнизное освещение. Вместо того, чтобы прятать в карнизе многочисленные люминесцентные лампы, тем самым ухудшая внешний вид системы (различные цветовые тона, тёмные точки в местах состыковки ламп), имеет смысл воспользоваться световодами длиной от 6 до 12 м и диаметром 250 мм. Размеры световода должны соответствовать размерам элемента конструкции. На рис. 13 приведены два примера вводных устройств.

11. Использование многолампового прожектора в качестве вводного устройства

Очень важное значение имеет как увеличение светового потока, вводимого в световод, так и максимально возможное уменьшение диаметра световода. На рис. 14 и 15 приведены примеры решения этой проблемы. В основу положено использование больших (имеющих диаметры, намного превышающие диаметр световода) и или глубоких (рис. 14), или мелких (рис. 15) параболических зеркальных отражателей, которые собирают световые лучи нескольких прожекторов и направляют собранный световой поток на входное отверстие световода. Глубокий параболический отражатель имеет малое, а мелкий – большое фокусное расстояние. Оптическая схема, приведённая на рис. 15, известна как система Кассегрена с параболическим отражателем и отверстием в центре большего отражателя.

12. Гелиостаты с оптическими системами Кассегрена

На рис. 16 и 17 приведены схемы гелиостатов, в которых используется оптическая система Кассегрена. Эта система включает в себя большое параболическое зеркало, прозрачную защитную оболочку сферической или плоской формы, вторичный зеркальный отражатель, жгут из волоконных световодов, приёмный конец световода, источники света и входные окна, а также плоский световод, нижняя поверхность которого имеет форму светящегося диска или двух (или четырёх) прямоугольников.

13. Оптическая система с повышенным коэффициентом использования светового потока

На рис. 18 приведена оптическая система, включающая в себя зеркальный параболический отражатель (параболоид вращения) *1*, сферическую зеркальную поверхность *2*, коническую зеркальную поверхность *3*, соединяющую элементы *1* и *2* и начало световода *4*, имеющего диаметр *D*. Эта система позволяет увеличить приёмный угол, то есть перехватывать большую часть светового потока источника света. Поверхность *2* перехватывает световой поток, выходящий за пределы приёмной зоны отражателя *1*, и возвращает его в фокальную точку, совпадающую с местоположением источника света [5]. Затем эти световые лучи падают на параболическое зеркало *3*, фокальная точка которого совпадает с фокальной точкой сферической поверхности. После повторного отражения от параболического отражателя весь световой поток поступает на вход световода.

На рис. 19 приведена аналогичная схема, в которой для уменьшения размеров сферическая поверхность заменена на совокупность сочленённых сферических колец.

На рис. 20 приведена оптическая схема, состоящая из трёх зеркальных отражателей: глубокого *2* и мелкого *4* па-

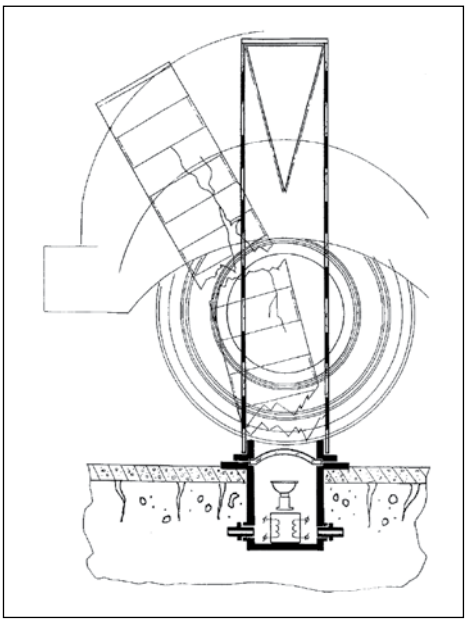


Рис. 25. Оптическая схема для светящегося столбика

раболических отражателей и эллипсоида вращения *5*. Эта система, особенно при использовании несферических источников света *1*, позволяет увеличить коэффициент использования светового потока применительно к входному концу *3* световода. При этом, входящий пучок света оказывается хорошо сформированным.

14. Система освещения с гелиостатом и плоским клиновидным полым световодом

На рис. 21–23 приведены несколько вариантов системы освещения с гелиостатом (как фиксированным, так и поворачивающимся вокруг вертикальной оси) и плоским клиновидным световодом.

Светящаяся поверхность световода может иметь форму диска (рис. 21) или прямоугольника (рис. 22). Поступающий от гелиостата свет попадает на вход световода *1* с призматической плёнкой *SOLF* и внешним отражателем (рис. 23). Эта система предназначена для освещения закрытых (или подземных) пространств.

15. Декоративный световод

Выходное отверстие плоского световода может иметь разную форму и служить для декоративных целей. Оно может иметь и разный цвет. На рис. 24 приведены плоский клиновидный световод и несколько вариантов декоративных щелей.

16. Дорожный столбик с «зеброй»

Имеются патенты на светящиеся полые дорожные столбики с разметкой «зебра», которые можно устанавливать на пешеходных переходах (например, [6]). Основной недостаток таких систем состоит в том, что они имеют малую вандалостойкость, так как позволяют легко добраться до лампы. Кроме того, в чрезвычайной ситуации водитель старается предотвратить дорожное происшествие и может съехать с дороги, сбивая при этом столбик. В этом случае источник света разбивается. Эту ситуацию можно исправить, если воспользоваться полым световодом (рис. 25).

Послесловие. Появление и развитие светодиодов открывает новые перспективные возможности и перед световодами. Липкая токоведущая лента с нанесёнными на неё светодиодами может крепиться к верхней части зеркального световода (с любыми промежутками между светодиодами) и создавать слегка акцентированное освещение под световодом. При этом сама труба световода должна быть чуть-чуть опаловой. При этом как дневное, так и ночное высокоэффективное освещение может обеспечиваться светящейся линией практически любой длины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aizenberg, J.B.* Hollow Light Guides. – Moscow: Publishing House «Znack», 2009, 208 pp.
2. *Aizenberg, J.B., Bukhman, G.B., Pyatigorskiy, V.M., Solomatina, N.M.* Lighting installation for premises with pneumatic protecting constructions. US Patent 4.120.024, 1978
3. *Айзенберг, Ю.Б.* Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света//Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 22–2 (*Aizenberg J.B.* Integral lighting systems for rooms with insufficient daylighting. Light & Engineering, 2003, v. 11, № 3.)
4. Авторское свидетельство СССР № 737693.
5. Авторское свидетельство СССР № 943474.
6. BRD Patent No. 3200599.

Айзенберг Юлиан Борисович
Доктор технических наук, профессор, академик АЭН РФ, главный редактор журнала «Светотехника»

Коробко Алексей Александрович,
кандидат техн. наук. Окончил в 1971 г. МЭИ. Ведущий научный сотрудник и руководитель группы специального программного обеспечения ООО «Управляющая компания «БЛ Групп». Член редколлегии журнала «Светотехника»

Бухман Геннадий Борисович,
кандидат технических наук, президент компании Экотехсвет, г. Киев

Пятигорский Владимир Михайлович, *кандидат техн. наук. Окончил МЭИ. Главный конструктор ООО «ВНИСИ». Лауреат Государственной премии РФ*

Исследование парка источников света, оценка электропотребления и потенциала экономии электроэнергии в системах освещения России

Г.Я. ВАГИН, О.Ю. МАЛАФЕЕВ, М.В. МАРТЫНЮК

Нижегородский государственный технический университет
E-mail: omail1@mail.ru

Аннотация

Разработана методика определения установленного парка источников света как в целом по стране, так и по всем секторам экономики России. Это позволяет оценить технологический уровень использования осветительных приборов и организовать постоянный мониторинг энергоэффективности электропотребления на освещение в различных секторах экономики России.

Ключевые слова: объём рынка источников света, парк источников света по секторам экономики, характеристики энергопотребления, потенциал экономии электроэнергии.

1. Введение

По данным [1], в России на нужды освещения ежегодно расходуется до 14% от общего объёма потребляемой в стране электроэнергии. В нормативных документах [2, 3] и в работе [4] намечены мероприятия по внедрению энергоэффективных источников света и светильников. Однако отсутствие постоянного мониторинга электропотребления на освещение не позволяет оперативно отслеживать, как выполняются эти мероприятия, и реагировать на быстро изменяющийся рынок источников света.

Целями и задачами данного исследования являются:

1) получение информации: сколько типов источников света и какие установлены на территории РФ в целом по стране и по секторам потребления;

2) оценочный расчёт объёмов электропотребления на освещение в целом по РФ и по секторам потребления;

3) оценочный расчёт снижения потребления электроэнергии на освещение и выбросов парникового газа в результате перехода на энергосберегающие источники света;

4) формирование информации по рынку ламп для оценки исполнения положений закона № 261-ФЗ [2].

Работа выполнялась по проекту ПРООН/ГЭФ/Минэнерго РФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения» при участии специалистов НГТУ и ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг».

В основу расчётов положены: данные мониторинга системы освещения России, проведённого в 2013–2014 годах; данные Росстата и региональных энергетических компаний; отчёты ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг» по мониторингу рынка ламп в России в 2011–2014 годах[1]; данные опросных листов и результаты анкетирования администрации более 70 городов в различных регионах РФ.

Областью исследования являлись все стационарно установленные источники света в четырёх основных секторах экономики: промышленном, общественном, жилищном и в наружном освещении.

2. Описание подхода

Блок-схема определения объёма рынка источников света (ИС) по секторам экономики приведена на рис. 1.

Рынок всех ИС можно разделить на K категорий ($k = 1 \div K$) по типу ламп. В настоящее время это восемь типов ламп (ЛН, ГЛН, КЛЛ, СД, ЛЛ, ДНаТ, МГЛ, ДРЛ). Световую отдачу отдельного типа ламп η_k будем считать одинаковой, не зависящей от мощности ламп.

Всю освещаемую площадь можно разбить на Q секторов, каждый площадью S_q ($q = 1 \div Q$). В данной работе это четыре сектора экономики.

Количество ИС, требующихся для освещения q-го сектора экономики, можно вычислить по выражению:

$$N_q = \frac{E_q \cdot S_q}{\eta_q}\left(\sum_{k=1}^{K}\omega_{q,k}\cdot\eta_k\cdot P_k\right)^{-1}, \qquad (1)$$

где E_q – средняя освещённость q-го сектора, лк; S_q – площадь q-го сектора, м^2; η_q – средний КПД осветительных приборов в q-м секторе; $\omega_{q,k}$ – базовое соотношение между числом источников света k-го типа и общим числом ИС в q-м секторе потребления; η_k – средняя светоотдача ламп k-й категории, лм/Вт; P_k – средняя мощность ИС для k-й категории, Вт.

Общее количество ИС по всем секторам экономики будет определяться по выражению:

$$N_{£} = \sum_{q=1}^{Q} N_q = \sum_{q=1}^{Q}\left[\frac{E_q\cdot S_q}{\eta_q}\left(\sum_{k=1}^{K}\omega_{q,k}\cdot\eta_k\cdot P_k\right)^{-1}\right]. \qquad (2)$$

Объём рынка ИС можно определить по выражению:

$$V = \sum_{q=1}^{Q}\sum_{k=1}^{K}\left(\omega_{q,k}\cdot N_q\cdot\frac{t_q}{T_k}\right), \qquad (3)$$

где T_k – срок службы ламп (время наработки на отказ) для каждого типа ламп (табл. 1); t_q – среднее время использования ламп для каждого сектора экономики в течение года (табл. 2).

Введём понятие интенсивности замены ламп k-го типа в q-м секторе $C_{q,k}$:

$$C_{q,k} = \frac{t_q}{T_k}(1 + d_k), \qquad (4)$$

[1] Рынок ламп в России в 2011–2013 гг. Отчёт о НИР. М.: ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг».

Таблица 1

Средний срок службы ламп в зависимости от технологии изготовления, T_k, ч [5]

ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
1000	2000	10 000	6000	10 000	12 000	10 000	20 000

Таблица 2

Среднее годовое количество часов использования освещения для различных секторов потребления, t_q, ч/год [6]

Жилищный	Общественный	Промышленный	Уличное освещение
1200	3600	3950	3600

Таблица 3

Коэффициент преждевременного выхода ламп из строя, d_k, %

ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
30	5	5	7,5	5	2,5	2,5	15*

* Столь высокий коэффициент преждевременного выхода из строя обусловлен присутствием на российском рынке светодиодов низкого качества.

Таблица 4

Средний годовой удельный расход ламп в пересчёте на одну светоточку, $C_{q,k}$, ламп/год

Сектор	ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
Жилищный	1,56	0,63	0,13	0,23	0,13	0,10	0,12	0,07
Общественный	4,68	1,89	0,38	0,69	0,38	0,31	0,37	0,21
Промышленный	5,14	2,07	0,41	0,76	0,41	0,34	0,40	0,23
Уличное освещение	4,68	1,89	0,38	0,69	0,38	0,31	0,37	0,21

Таблица 5

Структурное распределение ИС по секторам потребления в 2013 г., $\omega_{q,k}$, %

Сектор	ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
Жилищный	51,5	9,4	< 0,1	35,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,3
Общественный	< 0,1	1	73,5	14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	11,1
Промышленный	25,7	0,1	32,7	11	22,7	3,7	4	< 0,1
Уличное освещение	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	40,2	48,3	6,2	4,9

где d_k – коэффициент преждевременного выхода из строя каждого типа ламп (принят на основании экспертных оценок, табл. 3), и тогда выражение (3) примет вид:

$$V = \sum_{q=1}^{Q} N_q \sum_{k=1}^{K} \left(C_{q,k} \cdot \omega_{q,k} \right). \qquad (5)$$

Значения $C_{q,k}$, определённые по (4), приведены в табл. 4.

В табл. 5 приведено структурное распределение ИС по секторам экономики в процентах, полученное на основании энергетических обследований этих секторов.

Объём рынка по каждому типу ИС можно определить путём представления его в виде следующего уравнения в матричной форме:

$$\boldsymbol{V}_{1xK} = \boldsymbol{N}_{1xQ} \cdot \boldsymbol{CW}_{QxK}, \qquad (6)$$

где $\boldsymbol{N}_{1xQ}$ – матрица количества ИС в каждом секторе экономики; $\boldsymbol{CW}_{QxK}$ – матрица приведения общего количества ИС в q-м секторе к количеству израсходованных ИС k-го типа в q-м секторе.

Выражение (6) представляет собой систему линейных уравнений. Так как $Q < K$ (4 < 8), то система уравнений является переопределённой и может не иметь строгого решения. Для таких систем уравнений может быть при-

Таблица 6

Объём рынка ламп в России в 2013 г., V_k, млн шт. [7]

ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
436,4	53	121,7	124,5	8,7	2,4	1,5	53,9

Таблица 7

Оценка распределения ИС по секторам потребления в 2013 г., N_q, млн шт.

Жилищный	Общественный	Промышленный	Уличное освещение
547,4	458,6	66,6	9,5

Таблица 8

Средняя мощность ламп в 2013 г., $p_{q,\,k}$, Вт

Сектор	ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
Жилищный	60	40	23	14	140	150	81	9
Общественный	53	40	23	14	142	149	96	20
Промышленный	60	47	40	14	450	165	275	11
Уличное освещение	71	83	56	21	275	165	165	40

менён метод наименьших квадратов (МНК), позволяющий найти вектор $\boldsymbol{N}_{1xQ}$, обеспечивающий минимальное среднее квадратичное отклонение между $(\boldsymbol{N}_{1xQ} \cdot \boldsymbol{CW}_{QxK})$ и $\boldsymbol{V}_{1xK}$, по выражению:

$$\boldsymbol{N}_{1xQ} = \boldsymbol{V}_{1xK} \cdot \left(\boldsymbol{CW}_{QxK}\right)^T \cdot \left[\boldsymbol{CW}_{QxK} \cdot \left(\boldsymbol{CW}_{QxK}\right)^T\right]^{-1}, \qquad (7)$$

где T – знак транспонирования.

В качестве $\boldsymbol{V}_{1xK}$ используются данные по объёму рынка ламп в России в 2013 г. (табл. 6) [7].

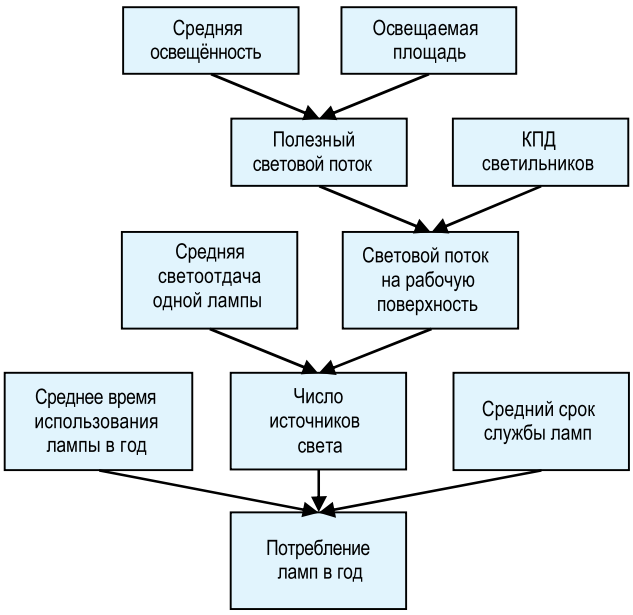


Рис. 1. Блок-схема определения объёма рынка ИС

3. Результаты оценки количества светоточек в секторах потребления

Оценка распределения ИС $\boldsymbol{N}_{1xQ}$ по секторам экономики по выражению (7) и объём рынка по типам ламп $\boldsymbol{V}_{1xK}$, вычисленный по выражению (6), могут иметь большие погрешности, т. к. значения $w_{q,k}$ (табл. 5) приведены в процентах. Поэтому следует выбрать вектор $\boldsymbol{N}_{QxK}$ такой, чтобы он обеспечивал минимальную относительную, а не абсолютную погрешность. Для этого выражение (7) необходимо изменить на следующее:

$$\boldsymbol{N}_{1xQ} = 1_{1xK} \cdot \left(\boldsymbol{CWV}_{QxK}\right)^T \cdot \left[\boldsymbol{CWV}_{QxK} \cdot \left(\boldsymbol{CWV}_{QxK}\right)^T\right]^{-1}, \qquad (8)$$

где 1_{1xK} – единичная матрица; $\boldsymbol{CWV}_{QxK}$ – матрица, полученная из матрицы $\boldsymbol{CW}_{QxK}$ по выражению:

$$CWV_{i,\,j} = \frac{CW_{i,j}}{V_j}, \forall\, i = 1 \div Q, j = 1 \div K. \qquad (9)$$

Распределение количества ИС по секторам экономики, полученное на основании формулы (8), приведено в табл. 7.

4. Оценка энергопотребления на освещение в 2013 году

В табл. 8 приведены средние мощности ИС, полученные по данным энергоаудитов и экспертных оценок.

С использованием данных табл. 5, 7 и 8 были определены характеристики энергопотребления по секторам экономики и типам ИС (табл. 9 и 10) по выражениям:

Таблица 9

Общая характеристика энергопотребления по секторам потребления и технологиям освещения в 2013 г.

Тип ламп	Количество светоточек, $N_{q,k}$, млн шт.	Среднее годовое число часов использования, t_q, ч	Полная установленная мощность, $P_{q,k}$, ГВт	Годовое потребление электроэнергии, $W_{q,k}$, ТВт·ч
Жилищный сектор				
ЛН	282,3	1200	16,9	20,3
ГЛН	51,7	1200	2,1	2,5
ЛЛ	< 0,5	1200	< 0,01	< 0,02
КЛЛ	194,2	1200	2,7	3,3
ДРЛ	< 0,5	1200	< 0,1	< 0,1
ДНаТ	< 0,5	1200	< 0,1	< 0,1
МГЛ	< 0,5	1200	< 0,04	< 0,1
СД	17,0	1200	0,2	0,2
Всего	547,4	—	22,1	26,5
Общественный сектор				
ЛН	< 0,5	3600	< 0,02	< 0,1
ГЛН	4,7	3600	0,2	0,7
ЛЛ	334,8	3600	7,7	27,7
КЛЛ	63,6	3600	0,9	3,2
ДРЛ	< 0,5	3600	< 0,1	< 0,2
ДНаТ	< 0,5	3600	< 0,1	< 0,2
МГЛ	< 0,5	3600	< 0,04	< 0,2
СД	53,7	3600	1,1	3,9
Всего	458,6	—	10,1	36,2
Промышленный сектор				
ЛН	17,1	3950	1,0	4,1
ГЛН	0,1	3950	< 0,01	< 0,01
ЛЛ	21,8	3950	0,9	3,4
КЛЛ	7,3	3950	0,1	0,4
ДРЛ	15,1	3950	6,8	26,9
ДНаТ	2,4	3950	0,4	1,6
МГЛ	2,7	3950	0,7	2,9
СД	< 0,01	3950	< 0,01	< 0,01
Всего	66,6	—	9,9	39,3
Наружное освещение				
ЛН	0,01	3600	< 0,01	< 0,01
ГЛН	0,01	3600	< 0,01	< 0,01
ЛЛ	0,01	3600	< 0,01	< 0,01
КЛЛ	0,01	3600	< 0,01	< 0,01
ДРЛ	3,9	3600	1,1	3,8
ДНаТ	4,6	3600	0,8	2,8
МГЛ	0,6	3600	0,1	0,4
СД	0,4	3600	0,0	0,1
Всего	9,5	—	1,9	7,0
Всего по стране	**1082,2**	**—**	**44,0**	**109,0**

Таблица 10

Общая характеристика энергопотребления по технологиям освещения в 2013 г.

Тип ламп	Количество светоточек, млн шт.	Среднее годовое число часов использования, ч	Полная установленная мощность, ГВт	Ежегодное потребление электроэнергии	
				ТВт·ч	%
ЛН	300,0	1360	18,0	24,5	22
ГЛН	56,5	1404	2,3	3,2	3
ЛЛ	357,2	3617	8,6	31,2	29
КЛЛ	265,2	1852	3,7	6,9	6
ДРЛ	20,0	3799	8,0	31,0	28
ДНаТ	8,1	3543	1,3	4,7	4
МГЛ	4,2	3509	0,9	3,4	3
СД	71,04	3026	1,2	4,1	4
Всего по стране	**1082,2**	**—**	**44,0**	**109,0**	**100**

Таблица 11

Годовое удельное энергопотребление одной светоточки, кВт·ч

Сектор	ЛН	ГЛН	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДНаТ	МГЛ	СД
Жилищный	72,0	48,0	27,6	16,8	168,0	180,0	97,2	10,8
Общественный	190,8	144,0	82,8	50,4	511,2	536,4	345,6	72,0
Промышленный	237,0	185,6	158,0	55,3	1777,5	651,7	1086,2	43,4
Наружное освещение	255,6	298,8	201,6	75,6	990,0	594,0	594,0	144,0

$$N_{q,k} = N_q \cdot w_{q,k}, \quad (10)$$

$$P_{q,k} = N_{q,k} \cdot p_{q,k}, \quad (11)$$

$$W_{q,k} = P_{q,k} \cdot t_q, \quad (12)$$

Таким образом, потребление электроэнергии на цели освещения на территории Российской Федерации в 2013 г. оценивается в 109 ТВт·ч, что составляет порядка 12% от общего электропотребления. Основными источниками потребления являются ЛЛ (29%), ДРЛ (28%) и ЛН (22%). Используя данные табл. 2 и 8, вычислено среднее годовое удельное энергопотребление (кВт·ч) одного ИС (табл. 11).

5. Верификация результатов

Для оценки корректности полученных в табл. 9 результатов по количеству светоточек $N_{q,k}$ и годового потребления электроэнергии $W_{q,k}$ выполнен расчёт этих показателей на основании данных по потреблению электроэнергии в секторах экономики в 2013 г [8]. Для этого, зная доли потребления электроэнергии на освещение в каждом секторе экономики [6], а также среднюю мощность источников света (табл. 8) и время их использования в течение года (табл. 2), вычислены значения $N_{q,k}$ и $W_{q,k}$ (табл. 12).

Для наружного освещения расчёт проводился на основании данных о протяжённости освещённых улиц, проездов и набережных в России. Протяжённость составляет[2] 335 598 км. Расстояние между опорами уличного освещения принято равным 40 м. Средняя мощность светильников принята равной 203 Вт (средневзвешенная мощность на основании табл. 5 и 8).

Расхождение результатов табл. 9 и 12 не превышает 6 %. Это говорит о том, что предложенная модель определения количества светоточек и годового электропотребления на освещение объективна и может использоваться правительственными и неправительственными организациями для планирования и оценки перспективных возможностей освещения и прогноза развития рынка ИС.

---

[2] Источники данных:

– данные отчёта «Исследование и сбор информации для формирования базы данных проектов для тиражирования пилотного проекта по уличному освещению» ПРООН/ГЭФ (www.undp-light.ru/results/16/file/0/235/PROPERTY_25/74/?download=y);

– данные, найденные в Сети (преимущественно сайты муниципалитетов городов и сайты Горсвета различных городов);

– результаты анкетирования и данные опросных листов;

– Единая межведомственная информационно-статистическая система (http://www.fedstat.ru/).

Таблица 12

Результаты оценки электропотребления по секторам экономики в 2013 г., используемые для верификации [6, 8]

Статьи расходного баланса	Годовое потребление по секторам экономики, ТВт·ч [8]	Процент потребления на освещение, % [6]	Годовое потребление на освещение, ТВт·ч	Установленная мощность систем освещения, ГВт	Количество светоточек, млн шт.
Добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды	564,987	5,8	32,723	11,896	57,956
Сельское и лесное хозяйство	15,286	15	2,293	0,573	5,732
Строительство	12,293	2	0,246	0,049	0,492
Транспорт	90,378	2	1,811	0,392	3,92
Общественный сектор	127,148	25	31,787	8,830	401,351
Городское и сельское население	140,971	20	28,194	23,495	587,379
Наружное освещение*	—	—	6,131	1,703	8,39
Всего по стране	951,064	—	103,1856	46,9	1065,220

* Расчёт выполнен на основании данных о протяжённости освещённых улиц, проездов и набережных в России.

Таблица 13

Динамика развития рынка ИС в РФ (производство и импорт) без учёта технического регулирования, млн шт. [7]

Тип ламп	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
ЛН	436,4	420,5	500,0	510,0	484,5	460,3	437,3	415,4
ГЛН	53,0	52,3	37,6	25,0	17,0	15,3	13,8	12,4
ЛЛ	121,7	88,5	80,0	64,0	38,4	28,8	21,6	16,2
КЛЛ	124,5	105,8	58,2	36,7	17,7	4,4	3,1	2,2
ДРЛ	8,7	6,1	2,5	1,5	0,5	0,3	0,2	0,1
ДНаТ	2,4	2,2	1,4	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2
МГЛ	1,5	1,4	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2
СД	53,9	123,7	99,0	122,8	167,6	209,2	240,5	264,6
Итого	**802,1**	**800,4**	**779,7**	**761,7**	**727,0**	**719,2**	**717,1**	**711,2**

6. Прогнозирование потребления электроэнергии на нужды освещения до 2020 года

Проведённое авторами исследование показывает, что намеченные в [2, 3] планы по внедрению энергоэффективных ИС до 2020 года не будут выполнены. Причин этого невыполнения много, но, по мнению авторов, одной из причин является отсутствие подзаконных актов по техническому регулированию, ускоряющих внедрение таких ИС.

В качестве подзаконных актов в Евросоюзе являются директивы и регламенты, а в России – технические регламенты. Данные документы являются обязательными как для производителей, так и для потребителей светотехнической продукции. Так, принятие в Евросоюзе трёх директив по светотехнической продукции (244/2009/ЕС, 245/2009/ЕС и 1194/2012/ЕС) позволило за период с 2008 по 2013 гг. снизить число ЛН в 2,85 раза и в 72 раза увеличить число светодиодных ламп [7].

Введённый в России с 01.01.2011 г. запрет на оборот ЛН мощностью 100 Вт и выше [2] привёл не к их сокращению, а к увеличению, что объясняется недостаточным производством отечественных КЛЛ и СД, их высокой стоимостью и низким качеством. Также с 01.01.2011 г. имеется полный запрет на закупку ЛН для государственных и муниципальных нужд. Постановлением Правительства РФ № 898 от 28.08.2015 г., которое вступит в действие с 01.07.2016 г., предусмотрен запрет на закупку для государственных и муниципальных нужд дополнительно следующей неэффективной светотехнической продукции: галофосфатных ЛЛ, ламп ДРЛ и КЛЛ, светильников для этих ламп и электромагнитных ПРА для ЛЛ.

В настоящее время идёт обсуждение комплекса мер по техническому регулированию рынка ламп в странах – участницах Евразийского экономического союза, который будет предусматривать:

- запрет оборота ЛН (с 01.01.2018 г. – мощностью 75 Вт и более, с 01.01.2019 г. – мощностью 60 Вт и более, с 01.01.2020 г. – все мощности);

Таблица 14

Динамика развития рынка ИС в РФ (производство и импорт) с учётом технического регулирования, млн шт. [7]

Тип ламп	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
ЛН	436,4	420,5	500,0	510,0	484,5	314,9	60,0	0,0
ГЛН	53,0	52,3	37,6	25,0	17,0	14,5	7,2	3,0
ЛЛ	121,7	88,5	80,0	64,0	38,4	19,2	9,6	4,8
КЛЛ	124,5	105,8	58,2	36,7	17,7	50,4	24,1	11,2
ДРЛ	8,7	6,1	2,5	1,5	0,5	0,3	0,2	0,1
ДНаТ	2,4	2,2	1,4	1,0	0,8	0,6	0,4	0,1
МГЛ	1,5	1,4	1,0	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1
СД	53,9	123,7	99,0	122,8	167,6	309,2	374,6	421,0
Итого	**802,1**	**800,4**	**779,7**	**761,7**	**727,0**	**709,4**	**476,3**	**440,2**

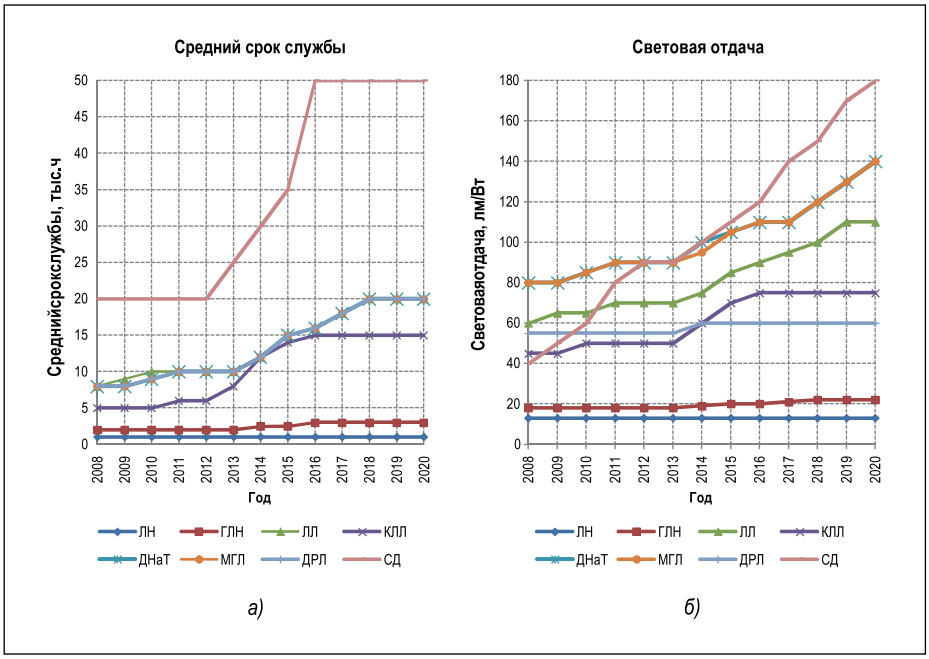


Рисунок 2 – Прогнозные данные для каждой из технологий изготовления ИС до 2020 года [9]: *а* – средний срок службы; *б* – световая отдача

- запрет оборота галофосфатных ЛЛ с 01.01.2018 г., а также ламп ДРЛ, ДНаТ и МГЛ с низкой эффективностью с 01.01.2020 г.;
- резкое сокращение ламп ГЛН.

В работе [7] приведены динамики рынков ИС в РФ до 2020 г. (табл. 13, 14) для двух сценариев развития рынков:

1) без введения технического регулирования, но с учётом действия Постановления Правительства № 898 (табл. 13);

2) с учётом введения комплекса мер по техническому регулированию в 2018 г. (табл. 14).

С использованием выражения (2)–(9), табл. 13, 14 и рис. 2 выполнена оценка динамики потребления электроэнергии на освещение в РФ до 2020 года для этих двух сценариев развития рынков (табл. 15, 16). При расчёте принималось допущение, что при замене ИС общий световой поток от всех ИС оставался для каждого года постоянным. Замена производилась светодиодными ИС.

Согласно результатам, приведённым в табл. 15 и 16, годовая доля потребления всех источников света будет уменьшаться, за исключение светодиодов, для которых в 2017 г. прогнозируется выход на первое место по потреблению электроэнергии среди остальных источников света.

7. Оценка потенциала экономии электроэнергии в освещении

Так как в табл. 15 и 16 приведены оценки энергопотребления с учётом вытеснения неэффективных источников света, то данные можно использовать для оценки потенциала энергосбережения. Оценка потенциала экономии определялась по выражению:

$$\Delta W = W_{\Sigma 2013} - W_{\Sigma 2020}, \qquad (13)$$

где $W_{\Sigma 2013}$ и $W_{\Sigma 2020}$ – суммарное потребление электроэнергии в освещении в 2013 и 2020 гг. соответственно.

Без учёта технического регулирования светотехнического рынка, потенциал экономии к 2020 г. оценивается в 54,6 ТВт·ч или 50 % от потребления на освещение в 2013 г.; с учётом технического регулирования потенциал экономии составит 75,7 ТВт·ч или 70 %.

8. Расчёт объёмов ассоциированных выбросов парниковых газов в секторе освещения

Расчёт объёмов ассоциированных выбросов парниковых газов в секторе освещения проведён в соответствии с методикой, приведённой в [10]. Эмиссия парниковых газов определяется умножением расхода топлива на соответствующие коэффициенты, которые зависят от вида топлива и категории источника.

Таблица 15

Оценка динамики потребления электроэнергии на освещение в РФ без учёта технического регулирования, ТВт·ч

Тип ламп	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
ЛН	24,5	21,2	25,2	25,7	24,4	23,2	22	20,9
ГЛН	3,2	4,5	2,9	2,3	1,5	1,3	1,2	1
ЛЛ	31,2	22,8	22,7	18,3	11,7	9,3	6,3	4,7
КЛЛ	6,9	12,9	7,1	4,5	2,2	0,5	0,4	0,3
ДРЛ	30,9	26,1	13,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
ДНаТ	4,7	3,8	2,9	2,1	1,9	1,4	0,9	0,4
МГЛ	3,4	3,6	2,9	2,1	1,7	1	0,6	0,6
СД	4,1	7,5	14,1	24,3	26,5	27,6	26,4	26,4
Итого	**109**	**102,3**	**91,1**	**79,2**	**69,8**	**64,3**	**57,8**	**54,3**

Таблица 16

Оценка динамики потребления электроэнергии на освещение в РФ с учётом технического регулирования, ТВт·ч

Тип ламп	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
ЛН	24,5	21,2	25,2	25,7	24,4	15,8	3	< 0,1
ГЛН	3,2	4,5	2,9	2,3	1,5	1,2	0,6	0,3
ЛЛ	31,2	22,8	22,7	18,3	11,7	6,2	2,8	1,4
КЛЛ	6,9	12,9	7,1	4,5	2,2	6,1	2,9	1,4
ДРЛ	30,9	26,1	13,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
ДНаТ	4,7	3,8	2,9	2,1	1,9	1,4	0,9	0,2
МГЛ	3,4	3,6	2,9	2,1	1,7	1	0,6	0,3
СД	4,1	7,5	14,1	24,3	26,5	27,6	28,9	29,7
Итого	109	102,3	91,1	79,2	69,8	59,4	39,8	33,2

Расчёт средней величины коэффициента годовой эмиссии диоксида углерода (CO_2) в атмосферу по России выполнялся по выражению:

$$K_{гэ} = \left(\begin{array}{c} W_{ТЭС} \cdot \left(f_{\%,\ неф.} \cdot E_{неф.} + f_{\%,газ} \cdot E_{газ} + f_{\%,уг.} \cdot E_{уг.} \right) + \\ + W_{ГЭС} \cdot E_{ГЭС} + W_{АЭС} \cdot E_{АЭС} \end{array} \right) / W_{\Sigma}, \quad (14)$$

где $W_{ТЭС}$, $W_{ГЭС}$, $W_{АЭС}$ и W_{Σ} – производство электроэнергии, ТВт·ч (табл. 17); $f_{\%,\ неф.}$, $f_{\%,\ газ}$ и $f_{\%,\ уг.}$ – доля производства первичных энергоресурсов, % (табл. 18); $E_{неф.}$, $E_{газ}$, $E_{уг.}$, $E_{ГЭС}$ и $E_{АЭС}$ – коэффициенты годовой эмиссии диоксида углерода (CO_2) в атмосферу, кг/МВт·ч (табл. 19).

В 2013 году величина коэффициента годовой эмиссии составила 264,6 кг/МВт·ч, к 2020 гг. составит от 271,5 до 294,7 кг/МВт·ч.

При годовом потреблении в 2013 году электроэнергии на цели освещения, равном 109 ТВт·ч, годовая эмиссия диоксида углерода (CO_2) в атмосферу, включающая энергию трансформационных и транспортных систем для преобразования первичной энергии, составила 28,8 млн тонн; при прогнозе годового потребления в 2020 году электроэнергии на цели освещения, равном от 33,2 до 54,3 ТВт·ч, годовая эмиссия диоксида углерода (CO_2) составит от 9,0 до 16,0 млн тонн. Снижение эмиссии диоксида углерода к 2020 году оценивается от 12,8 до 19,8 млн тонн, что составляет от 45 до 69 % от уровня годовой эмиссии в 2013 году.

9. Выводы

1. Проведена оценка установленного парка источников света как в целом по РФ, так и по всем секторам экономики. Это позволяет оценить технологический уровень использования осветительных приборов и организовать постоянный мониторинг энергоэффективности электропотребления на освещение в различных секторах экономики России, более обоснованно разрабатывать планы по внедрению энергоэффективных ИС и их выпуску.

2. Выполнена оценка динамики потребления электроэнергии на цели освещения в РФ до 2020 года без введения и с введением документов технического регулирования и определён потенциал энергосбережения, ко-

Таблица 17

Производство электроэнергии электростанциями [8,11]

Электростанции	Производство электроэнергии, ТВт·ч	
	2013 г.	2020 г.
Все электростанции В том числе:	1059	1344–1561
ТЭС	703	873–1039
ГЭС	183	224–240
АЭС	173	247–282

Таблица 18

Производство первичных энергоресурсов [8,11]

Энергоресурс	Производство первичных энергоресурсов, млн т.у.т.	
	2013 г.	2020 г.
Всего В том числе:	1880	1883–2017
нефть	746	718–748
газ природный	770	919–958
уголь	237	246–311

Таблица 19

Коэффициенты годовой эмиссии диоксида углерода в атмосферу [12]

Первичное топливо	Коэффициент годовой эмиссии диоксида углерода (CO2) в атмосферу, кг/МВт·ч
Нефтяное топливо	330
Газ	227
Уголь	1340
Атомная энергия	16
ГЭС	7

торый составляет от 54,6 до 75,7 ТВт·ч, что соответствует от 50 до 70 % от потребления на освещение в 2013 г. соответственно.

3. Для ускорения внедрения энергоэффективных ИС в РФ необходимо скорейшее введение в действие комплекса мер по техническому регулированию рынка ИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Циссис Ж., Айзенберг Ю.Б., Шевченко А.С.* Формирование светотехнического рынка России для повышения энергоэффективности освещения // Светотехника.– 2009.– № 6. – С. 42–48.

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года.

4. Шевченко А.С. Программа продвижения энергоэффективного освещения в России // Светотехника.– 2014.– № 1–2. – С. 112–117.

5. Энергоэффективное электрическое освещение: Учеб. пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, В.Д. Поляков и др.; под ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.– 288 с.: л.

6. Экономия энергоресурсов в промышленности, бюджетных организациях, жилищно-коммунальном хозяйстве: Справочно-методическое пособие / Авт. – сост. Г.Я. Вагин, С.Ф. Сергеев. – Н. Новгород: НГТУ, 2007.– 280 с.

7. Анализ состояния и перспектив рынка светотехнической продукции в странах – участниках Евразийского экономического союза (ЕАЭС) / Программа развития Организации Объединённых Наций (ПРООН), 2015.– 78 с.

8. Российский статистический ежегодник. 2013: Стат. сб. / Росстат. – М., 2013.– 717 с.

9. Отчёт о НИР по теме: «Анализ методической и нормативной правовой базы, стимулирующей реализацию энергосберегающих проектов на основе энергосервисных контрактов и подготовка предложений по изменению либо исключению норм законодательства, препятствующих широкомасштабной реализации энергосберегающих проектов на данной основе» (окончательный). – М., 2013. – URL: http://www.undp-light.ru/upload/iblock/3ec/3ec1633f0996ab062c9b92940e4bd364.doc (дата обращения: 18.05.2016).

10. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов – МГЭИК, 1996. – URL:

http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/russian.html (дата обращения: 18.05.2016).

11. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р

12. Свод правил «Энергетическая эффективность зданий – общее потребление энергии и определение энергетических характеристик» (на базе EN15603:2008). Приложение Д. – М., 2013.

Вагин Геннадий Яковлевич, *доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Нижегородского государственного технического университета. Эксперт Аналитического центра при Правительстве РФ. Окончил Горьковский политехнический институт в 1965 г. Область научных интересов – энергосбережение.*
Контактный телефон: 8(831)436–88–40»

Мартынюк Михаил Владимирович, *кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информатика и системы управления» Нижегородского государственного технического университета. Окончил Нижегородский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – энергоэффективное освещение.*
E-mail: m_mart@mail.ru
Контактный телефон: 8(903)84–87–116

Малафеев Олег Юрьевич, *ассистент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Нижегородского государственного технического университета. Окончил Нижегородский государственный технический университет в 2010 г. Область научных интересов – энергоэффективное освещение.*
E-mail: omail1@mail.ru
Контактный телефон: 8(910)140–85–44

Поздравляем с юбилеем!

Сергея Григорьевича Ашуркова

20 мая исполнилось 70 лет Сергею Григорьевичу Ашуркову, кандидату технических наук, зам. главного редактора журнала «Светотехника».

С.Г. Ашурков окончил в 1970 г. Московский энергетический институт по специальности «Светотехника и источники света», но ещё студентом-дипломником начал работать во ВНИСИ, где проработал до 2007 г. в должностях техника, инженера, старшего инженера, старшего научного сотрудника и ведущего научного сотрудника. С начала 2007 г., по приглашению главного редактора Ю.Б. Айзенберга, перешёл на работу в редакцию журнала «Светотехника».

В 1978 г. юбиляр защитил кандидатскую диссертацию во ВНИСИ (научный руководитель Г.С. Сарычев).

Имеет около 100 печатных работ, включая 29 авторских свидетельств, патентов на изобретение и патент на помышленный образец. Основные работы посвящены исследованиям и разработкам в области мощных источников излучения и облучательной техники для технологических процессов (фотоотверждение лаковых покрытий в мебельной промышленности, фотолитографические процессы в производстве печатных форм и плат, УФ обеззараживание различных сред и др.). Кроме того, ряд работ С.Г. Ашуркова посвящён постановке и решению задач комплексной экологизации светотехнических изделий, а также теме создания и применения осветительных приборов со светодиодами.

С.Г. Ашурков – неоднократный участник ряда всесоюзных, российских и международных конференций, и в 1999–2007 гг. представлял Россию в Отделении 6 («Фотобиология и фотохимия») Международной комиссии по освещению.

Награждён медалью «В память 850-летия Москвы», двумя серебряными медалями ВДНХ СССР, несколькими почётными знаками и грамотами.

Редакция и редколлегия журнала, коллеги и друзья поздравляют Сергея Григорьевича Ашуркова с юбилеем и желают ему здоровья и успехов в жизни

Гидродинамическое исследование видов теплопереноса в противотуманной автофаре*

С. ДЗОШКУН[1], К.Ф. СЁКМЭН[2], Н. ЯМАНКАРАДЕНИЗ[1]

[1] Улудагский университет, Улудаг, Турция
[2] Технический университет Бурсы, Бурса, Турция
E-mail: furkan.sokmen@btu.edu.tr

Аннотация

Проведено расчётное исследование температурного распределения и теплопереноса (ТП) в противотуманной автомобильной фаре и получено решение, не зависящее от размеров сетки. Полученные результаты сопоставлены с литературными данными и подтверждены экспериментально. Измерения проводились при 24 °С в пяти точках с помощью термопар. Продолжительность испытаний составляла 2 ч. Для термического анализа использовалась программа «*ANSYS CFX 12.*1». Воздушный поток внутри противотуманной фары считался установившимся, несжимаемым, ламинарным и трёхмерным. Учитывались изменения теплофизических характеристик, гидростатический эффект и излучение. Излучение – важный вид теплопереноса, который следует учитывать при расчёте распределения температуры линз автомобильных осветительных приборов. При неправильном выборе материалов излучение может оказывать негативное воздействие на линзы. Несмотря на сложность геометрии лампы и неизотермичность её поверхности, общие гидродинамические и теплофизические параметры от этого не зависят.

Ключевые слова: осветительные приборы автомобилей, фара, ламинарная естественная конвекция, излучение, сопряжённый анализ, вычислительная гидродинамика.

1. Введение

Осветительные приборы (ОП) автомобилей, такие как фары и задние фонари, служат для обеспечения не только видимости в тёмное время суток [1, 2], но и безопасности дорожного движения [2, 3]. Общее рассмотрение ОП автомобилей содержится в [4]. Разнообразные проблемы, связанные с термическими процессами, возникли при использовании галогенных ламп накаливания (*H1*, *H3*, *H4*) [5], разрядных ламп ВД [6] и светодиодов [7]. В частности, некоторые проблемы, связанные с материалами, применяемыми в ОП, вызваны увеличением мощности ламп. Проблемы термического характера чаще возникают у противотуманных, чем у осветительных фар, что обусловлено малым объёмом противотуманных фар и большими мощностями используемых в них ламп. Распределение температуры и движение воздуха в случае противотуманных фар было рассмотрено в докладе [8] применительно к автолампе *H11*. Аналогичное исследование осветительных фар отражено в работе [9].

Тепловая нагрузка и распределение температуры в ОП исследовались в работе [10], где было показано, что информация о распределении температуры много значит при конструировании ОП и ламп, и были рассмотрены причины, по которым следует проводить термоанализ. Первая из них связана с требованием производителей автомобилей сокращать затраты, обусловленные большой сложностью проектных параметров, тогда как вторая обусловлена зависимостью уменьшения затрат от степени применения пластмасс.

Лампы, которые применяются в ОП автомобилей, имеют форму коротких цилиндров и наполнены газообразными галогенами. При подаче напряжения на вольфрамовую нить накала лампы происходит быстрое и неизотермическое увеличение температуры поверхности лампы. Процесс передачи тепла и ха-

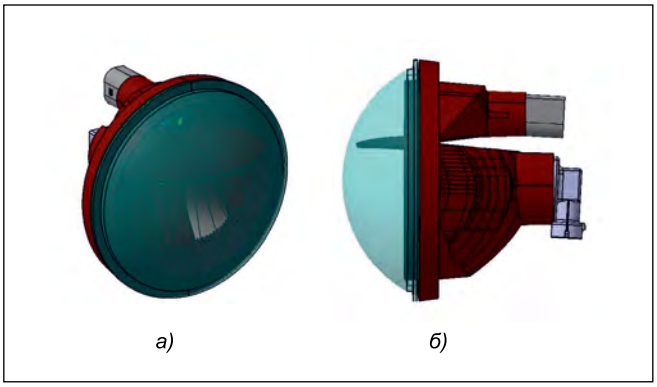


Рис. 1. Противотуманная фара, использовавшаяся при проведении исследований: *а* – изометрическое изображение; *б* – вид справа

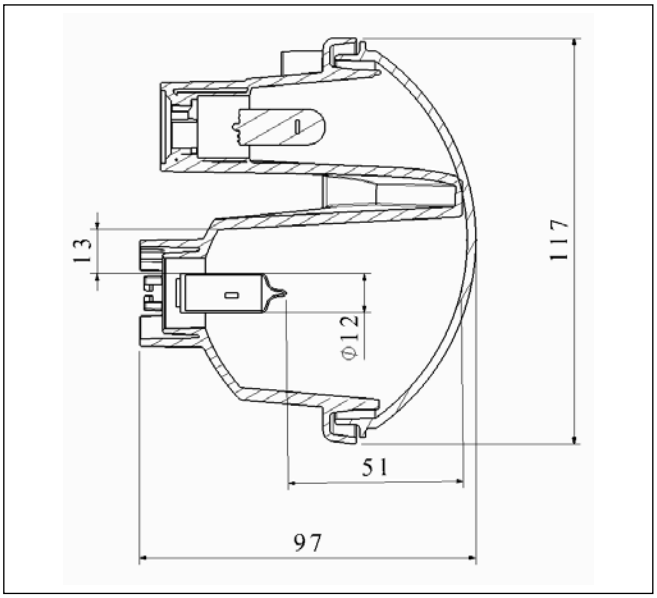


Рис. 2. Чертёж противотуманной фары, вид слева

* Перевод с англ. Е.И. Розовского

рактеристики воздушного потока в случае длинного горизонтального цилиндра исследованы в [11–17], а в [18–20] введены хорошо известные поправки. Случаи внутренней генерации тепла и постоянного теплового потока рассмотрены в [21–-24]. Проведены численные исследования сложных трёхмерных систем, но их результаты не сравнивались с какими-либо экспериментальными данными, вследствие чего имелись некоторые сложности с получением информации о потоках [25].

В данной работе проведено исследование температурного распределения и влияния разных видов ТП на конструктивные элементы противотуманной фары. Кроме того, методами вычислительной гидродинамики и автоматизированного проектирования рассчитаны характеристики воздушного потока, обтекающего лампу *H8*. При этом получены и экспериментально подтверждены базовое распределение температуры и значения температуры в разных точках поверхности линзы. Распределение температуры и виды ТП в противотуманной фаре сопоставлены с литературными данными.

2. Объект и метод

2.1. Геометрия и моделирование

На рис. 1 показана противотуманная фара (*OEM* компании *Automotive Lighting*), которая использовалась при проведении исследований. В ней в качестве источника тепла выступала лампа *H8*. Мощность, потребляемая нитью накала лампы, составляла 43 Вт. Что касается материалов, то эта противотуманная фара содержала линзу из полиметилметакрилата, образующие единое целое корпус и отражатель из поликарбоната и акрилонитрилбутадиенстирола. На рис. 2 приведён чертёж этой противотуманной фары (вид слева).

2.2. Эксперимент

Анализ противотуманной фары проводился применительно к режиму полной нагрузки. Использовавшаяся при этом сетка показана на рис. 3, *а*. Эксперимент проводился при 24 °С в течение 2 ч, что позволяло обеспечить установившийся режим работы фары (рис. 3, *б*). Использовавшееся оборудование и диапазоны измерений приведены в табл. 1.

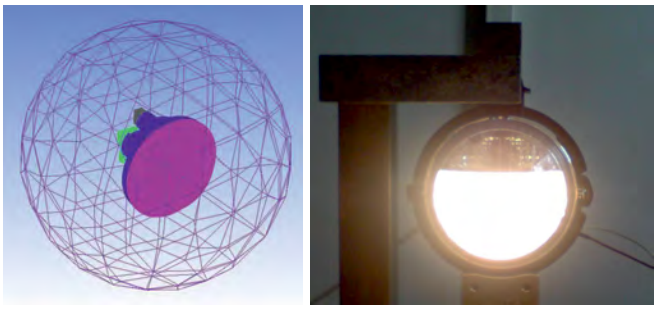


Рис. 3. Условия: *а* – при расчётах с использованием сетки; *б* – при проведении измерений

а) *б)*

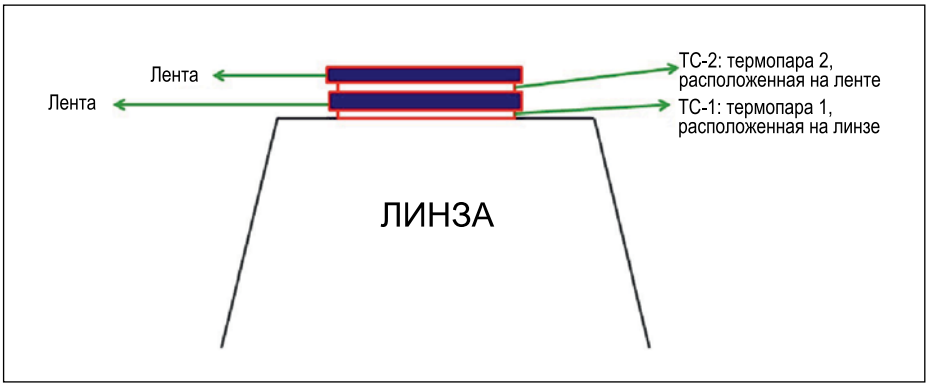


Рис. 4. Подтверждение точности измерений, проводившихся при помощью термопары

В данном исследовании для измерения температуры использовались пять термопар. Использовался также цифровой термометр *APPA-50*, позволяющий считывать показания двух разных термопар. Термопары помещались в критичных точках поверхности противотуманной фары. Вначале одна термопара была клейкой лентой закреплена на линзе для проведения калибровки. Затем для измерения вносимой лентой погрешности на неё была помещена другая термопара (рис. 4). Расположенная на линзе термопара показала температуру поверхности линзы 50,3 °С, а термопара, расположенная на клейкой ленте, – 50,1 °С. Так как разность показаний этих термопар составила всего 0,2 °С, влиянием клейкой ленты решено было пренебречь. Показания пяти термопар снимались и регистрировались каждые полчаса. Анализ проводился для установившегося режима. Результаты измерений представлены в табл. 2.

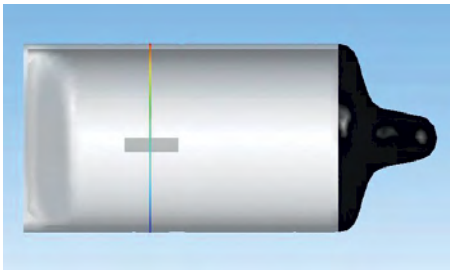


Рис. 5. Среднее сечение

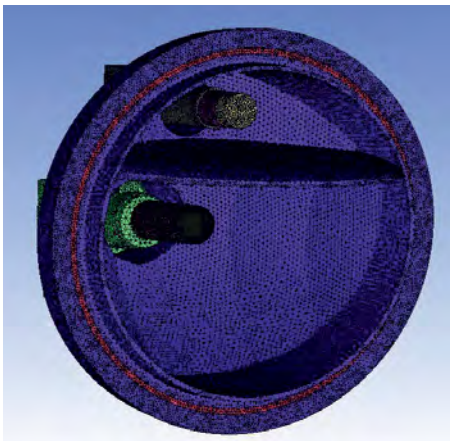


Рис. 6. Сетка, наложенная на внутреннюю часть и компоненты противотуманной фары

2.3. Расчёты

Важность и полезность для автомобильной промышленности такого инструмента, как вычислительная гидродинамика, отмечалась в [26, 27]. В этой работе для расчёта распределения температуры в противотуманной фаре использовалась коммерческая программа «*ANSYS CFX 12.1*»

Таблица 1

Характеристики измерительных приборов

Прибор	Торговая марка	Рабочий диапазон, °С	Погрешность, °С
Термометр	*APPA-50*	–40 ÷ +204	± 2,2
Термопара	*Standart (K Type)*	–100 ÷ +400	± 0,1
Тепловизор	*FLIR SC620*	–40 ÷+500	± 2

Таблица 2

Результаты измерений температур поверхностей, °С

	1-е испытание	2-е испытание	3-е испытание
Точка 1	104,12	104,02	104,08
Точка 2	98,201	98,115	98,198
Точка 3	80,021	80,111	80,03
Точка 4	86,23	86,21	86,25
Точка 5	81,03	81,05	81,12

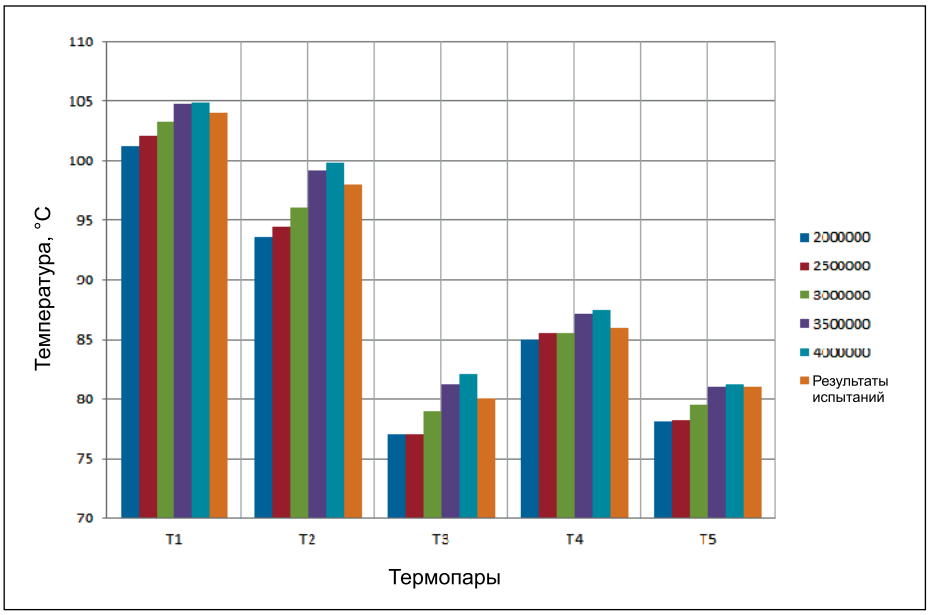


Рис. 7. Сравнение значений температуры, полученных при различных размерах сетки, с результатами испытаний

[28]. Геометрическая модель противотуманной фары была сформирована и упрощена с помощью программы «*CATIA V5 R19*». Сетка была сформирована в «*ICEM CFD*». Все расчёты и оценки проводились при помощью «*ANSYS CFX 12.1*». При этом использовались многочисленные связанные элементы и целиком неявное решение уравнений методом конечных объёмов. Расчёт давления производился с помощью алгоритма «*SIMPLEC*», а для оценки скорости использовалась интерполяция Рхи-Чоу. Проводились 3-мерные расчёты при ламинарном несжимаемом и установившемся конвективном воздушном потоке. Для расчёта гидростатической подъёмной силы использовалось уравнение сохранения количества движения при наличии источника

$$S_{M,buoy} = \left(\rho - \rho_{ref}\right).$$

Для определения входящей в это уравнение разности плотностей использовалась модель Буссинеска. Число Рэлея (*Ra*) и локальное число Нуссельта *Nu* рассчитывались для середины нити накала (рис. 5):

$$Ra_D = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu^2}Pr = GrPr,$$

где ΔT – разность температур поверхности лампы и окружающего воздуха, β – коэффициент теплового объёмного расширения, который определяется по уравнениям

$$\beta = \frac{1}{T_f},$$

$$T_f = \frac{T_a + T_s}{2},$$

где T_f, T_a и T_s – температуры плёнки, окружающего воздуха и поверхности лампы соответственно. Значение *Ra* определяется с помощью чисел Грасгофа *Gr* и Прандтля *Pr*. Рассчитанные в данной работе *Gr* и *Pr* оказались равны, соответственно, 9086 и 13624. Локальное *Nu* рассчитывалось как

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k}. \qquad (1)$$

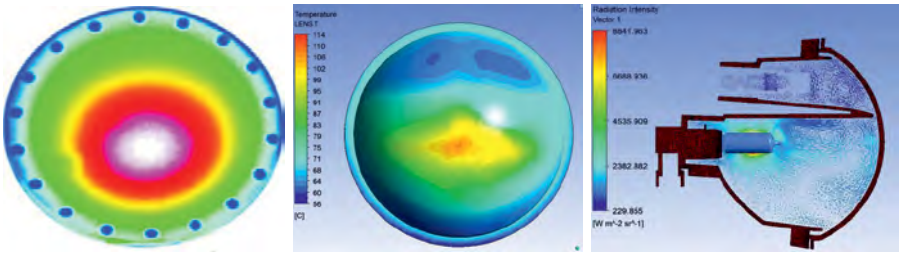
Оценка влияния излучения противотуманной фары осуществлялась методом Монте-Карло. Модель Монте-Карло используется в «*ANSYS CFX*» для расчёта обмена излучением между жидкостью и твёрдым телом. Она учитывает примерно 2,5–5 млрд фотонов в зависимости от объёма ОП автомобиля. Каждый из фотонов попадает на твёрдую деталь напрямую. В зависимости от длины волны, некоторые

фотоны проходят сквозь прозрачные твёрдые детали. Другой метод основан на дискретной модели переноса излучения. Правда, эта модель не вполне успешно использовалась в решении ряда задач переноса излучения [2]. Известно хорошее сравнение двух упомянутых моделей [29]. Ранее было показано, что модель Монте-Карло может успешно использоваться во многих применениях, особенно при моделировании полупрозрачных или прозрачных твёрдых тел [30].

Сетка, применявшаяся при моделировании противотуманной фары, показана на рис. 6. При построении модели использовалась сетка Делоне. Для всех твёрдых поверхностей в качестве граничного условия использовалось отсутствие проскальзывания. Мощность, потребляемая нитью накала лампы, выступающей в роли объёмного источника тепла, – 43 Вт. Коэффициент излучения покрытой алюминием поверхности считался равным 0,1. Для получения не зависящего от размеров сетки решения расчёты были проведены применительно к сеткам с числом меш, равным 2; 2,5; 3; 3,5 и 4 млн. Рассчитанные и измеренные температуры приведены на рис. 7 и в табл. 3. Наилучшее совпадение с результатами измерений получено при числах меш 3,5–4 млн (табл. 3). Для анализа работы противотуманной фары было использовано число меш 3,5 млн. При этом максимальное отклонение результатов расчётов от результатов измерений составило 1,54 % (в точке 3, см. табл. 4), а минимальное отклонение – 0,03 % (в точке 5, см. табл. 4).

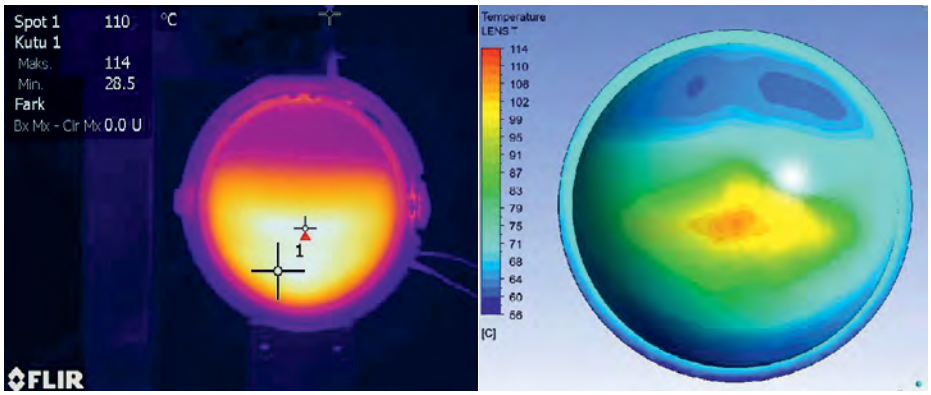
3. Результаты и обсуждение

Цель данного исследования – определение температурного распределения и оценка разных видов ТП в противотуманной фаре, а также ТП в окрестностях лампы *H8*. Все не зависящие от размера сетки результаты расчётов были оценены и сопоставлены с результатами измерений. Распределение температуры линзы приведено на рис. 8, *б*. Как видно на рис. 8, *б* и 8, *в*, высокотемпературный участок линзы расположен непосредственно напротив лампы *H8*. Такое же распределение температуры было получено в работе [31] с помощью тепловизора. При этом было установлено, что *Ra* влияет на высокотемпературное поле линзы, горячее пятно возникает напротив оси лампы при низких *Ra* и влияние конвекции с уменьшением *Ra* непрерывно уменьшалось. При низких *Ra* местоположение и температура горячей точки определялись исключительно передачей тепла излучением. Повышение *Ra* может менять параметры потока и удалить высокотемпературное поле над осью трубки или в верхней части линзы. На рис. 8, *а* приведено распределение температуры, полученное в [31] при *Ra* = 2,101. В работе [9] проведено исследование распределения температуры для лампы *H4* мощностью 75 Вт. *Ra* оказалось равным 12904, и конвективный перенос тепла оказался эффективнее излучательного [9]. Эти данные подтвердили результаты, полученные в [31]. Так что высокотемпературный участок непосредственно напротив лампы *H4* в этом случае отсутствует из-за интенсивного конвективного теплообмена. Нагретый воздух поднимался над лампой, достигал свода отражателя и перетекал непосредственно к линзе. В результате высокотемпературный участок линзы оказался расположенным над осью лампы [9]. В данном исследовании использовалась лампа *H8*, для которой *Ra* оказалось равным 9086. Ожидалось, что столь большое *Ra* приведёт к образованию высокотемпературного участка над осью лампы, однако полученные результаты не оправдали этого ожидания. Несмотря на высокое *Ra* и результаты, полученные другими исследователями [9, 32], в данном случае влияние излучения оказалось сильнее, чем влияние конвекции, в результате чего высокотемпературный участок образовался непосредственно напротив лампы (рис. 8, *б*). Причиной этого могла послужить геометрия противотуманной фары. Её объём меньше объёма осветительной фары, поэтому нагретый воздух доходит до деталей противотуманной фары за меньший промежуток времени. Следовательно, нагретый воздух может попадать на линзу более эффективно (рис. 8, *в*).



а) *б)* *в)*

Рис. 8. Распределение температуры:
а – из [31], *Ra* = 2,101; *б* – распределение температуры линзы; *в* – распределение температуры воздуха внутри фары



а) *б)*

Рис. 9. Изображение, полученное с помощью тепловизора

Результаты измерений, проведённых с помощью тепловизора, и распределение температуры, полученное в результате не зависящих от размеров сетки расчётов, приведены на рис. 9, *а* и 9, *б* соответственно.

В данной работе лампа *H8* принималась за небольшой цилиндр. Распределение температуры в общем случае длинного горизон-

Таблица 3

Сравнение расчётных значений температуры, полученных при различных значениях чисел меш сетки, с результатами измерений[4]

	Результаты расчётов, °C					Результаты измерений, °C
	2 млн	2,5 млн	3 млн	3,5 млн	4 млн	
Точка 1	101,203	102,11	103,32	104,82	104,94	104
Точка 2	93,568	94,482	96,058	99,211	99,852	98
Точка 3	76,985	77,021	78,985	81,251	82,15	80
Точка 4	84,985	85,498	85,502	87,201	87,523	86
Точка 5	78,102	78,256	79,520	81,025	81,215	81

Таблица 4

Отклонения расчётных значений температуры, полученных при различных количествах узлов сетки, от результатов измерений, %

Число меш >	2 млн	2,5 млн	3 млн	3,5 млн	4 млн
Точка 1	-2,76	-1,86	-0,66	079	0,89
Точка 2	-4,74	-3,72	-2,02	1,22	1,85
Точка 3	-3,92	-3,87	-1,29	1,54	2,62
Точка 4	-1,19	-0,59	-0,58	1,38	1,74
Точка 5	-3,71	-3,51	-1,86	0,03	0,26

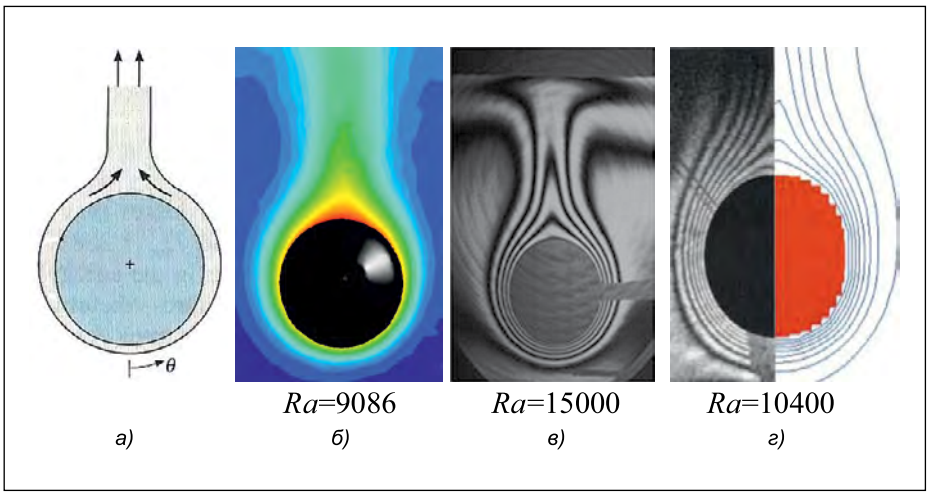


Рис. 10. Распределение температуры:
а – общий случай [18]; *б* – численная оценка в случае цилиндрической лампы с переменной температурой поверхности (данное исследование); *в* – интерферограмма распределения температуры вокруг длинного изотермического цилиндра, расположенного под адиабатическим потолком [33]; *г* – интерферограмма (слева) и численная оценка (справа) распределения температуры вокруг длинного изотермического цилиндра в изотермической кубической камере [25]

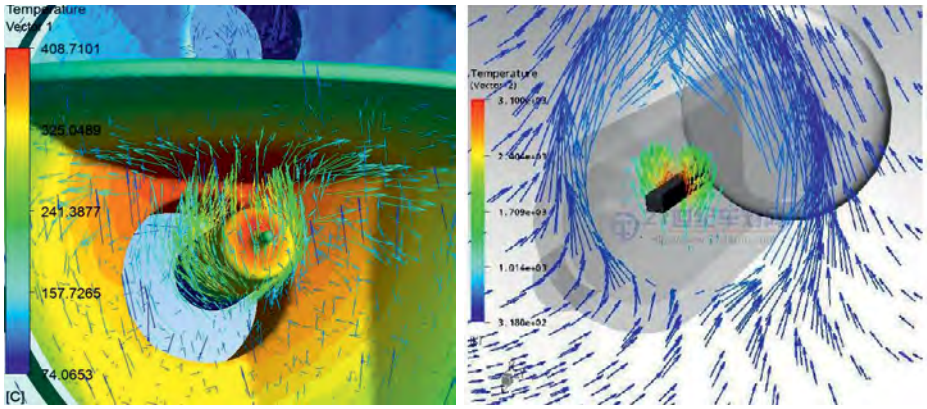
тального изотермического цилиндра, приведённое на рис. 10, *а* [18], сравнимо с полученным в данной работе распределением температуры в окрестности лампы (рис. 10, *б*). На рис. 10, *в* показан участок, расположенный под адиабатическим потолком [33], а на рис. 10, *г* – цилиндр, расположенный в изотермической камере [25]. На рис. 10 струя горячего воздуха во всех случаях поднимается над лампой под углом примерно 90°. Данным по рис. 10, *в* и 10, *г* соответствуют *Ra*, равные 15000 и 10400. В данной работе *Ra* равнялось 9086.

Распределение температуры для лампы *H8* приведено на рис. 11, *а*. Примерно то же было получено в работе [8] (рис. 11, *б*). Как видно на рис. 11, *а* и 11, *б*, горячий воздух, поднимающийся от цилиндра, достигает потолка. В данной работе лучистый теплообмен рассчитывался при помощи трассировки лучей с использованием метода Монте-Карло. Известна аналогичная работа в [33], правда, применительно к адиабатическому потолку. Считается, что из-за подъёма горячего воздуха наиболее горячим участком отражателя является его верхняя часть. Когда горячий воздух ударяет в верх отражателя, он разделяется на два симметричных потока (рис. 11, *а*). Такое же разделение потока наблюдалось и другими исследователями [8] (рис. 11, *б*).

Симметричное разделение потока горячего воздуха наблюдалось и в [33] (рис.10, *в*). В [33] диаметр объёмного цилиндрического источника тепла был равен 1,5 мм, тогда как в данной работе цилиндрический источник тепла имел диаметр 1,2 мм. Распределение, которое было по-

лучено в [33], продемонстрировало отсутствие конвективного переноса тепла, что обусловлено наличием адиабатического потолка. В [25] исследовались помещённые в камеру изотермические цилиндры, причём симметричного разделения потока горячего воздуха не наблюдалось (рис. 10, *г*). Течение горячего воздуха при этом было таким же, как и в общем случае [18] (рис. 10, *а*). Локальные *Nu*, распределение которых приведено на рис. 12, рассчитывались по уравнению (1) при двух допущениях. Первое из-них заключалось в усреднении температуры в среднем сечении нити накала и газа внутри лампы (рис. 5), что обусловлено трудностью расчёта температуры в каждой точке этого сечения. Второе допущение касалось поточечного распределения температуры (*point to point temperature distribution*) в окрестности среднего сечения нити накала и газа внутри лампы. Оба допущения были сопоставлены с примерами из работ [9, 34–36]. Все кривые на рис. 12 похожи друг на друга, и локальные *Nu* изменяются прямо пропорционально *Ra* в полном соответствии с [37–39]. Результаты, приведённые на рис. 12, не демонстрируют влияния сложной геометрии лампы и неизотермического состояния её поверхности на общий характер протекания потока воздуха и на описывающие ТП параметры. Однако локальные *Nu* отражают влияние пограничного слоя, которое начинается при $\theta = 0°$ и заканчивается при $\theta = 180°$ (рис. 12). Локальное *Nu* достигало максимума при $\theta = 0°$ и снижалось с ростом θ [18]. В данной работе локальное *Nu* слегка возрастало после $\theta = 0°$.

Распределение *Nu* может быть связано с толщиной теплового пограничного слоя вокруг цилиндра. Эта толщина минимальна у основания цилиндра ($\theta = 0°$), так что условию $\theta = 0°$ соответствует максимальное изменение температуры, и в работе [38] максимальный перенос тепла наблюдался именно в этой точке. В данной работе перенос тепла в среднем сечении нити накала для поточечного распределения температуры оказался наибольшим при $\theta = 0°$ (рис. 12), что совпадает с данными [34, 35, 38]. В [34, 35] *Ra* менялось от 10^3 до 10^5, а в данной работе для поточечного распределения температуры оно лежало в пределах 6,5–81.



а) *б)*

Рис. 11. Распределение температуры:
а – вокруг лампы *H8* (данное исследование); *б* – приведённое в [8]

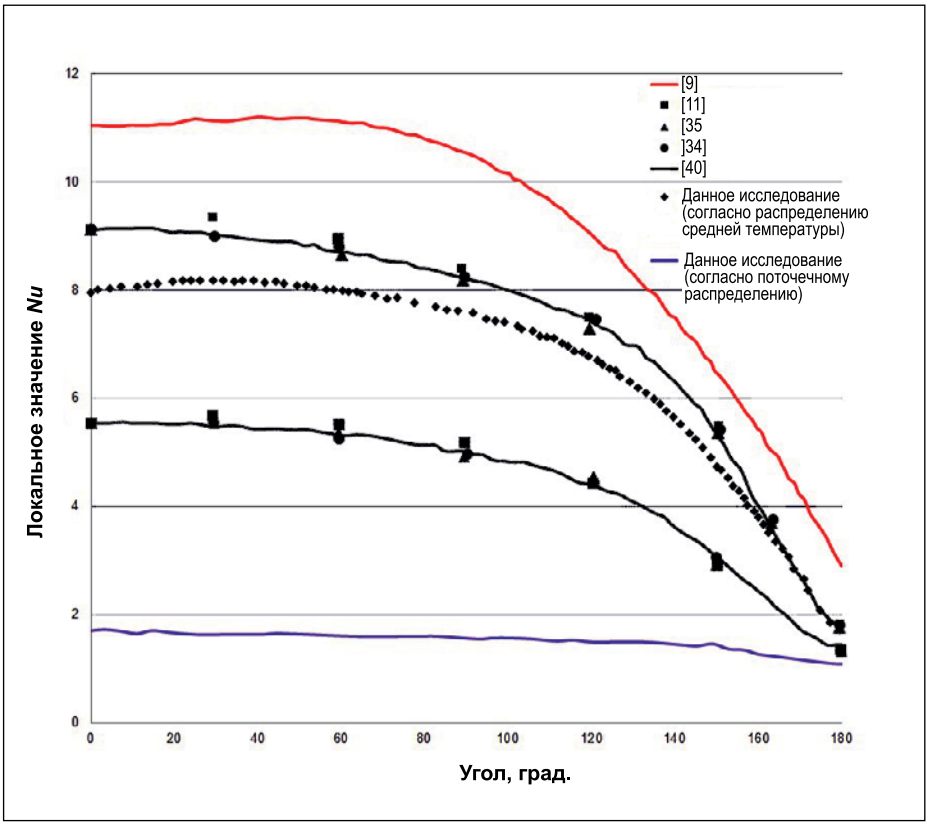


Рис. 12. Сравнение с литературными данными распределения числа Нуссельта *Nu* в полуокрестности цилиндрической лампы

Полученное распределение локального *Nu* согласуется с данными работы [37], за исключением того, что максимум ТП имел место не внизу лампы ($\theta = 0°$). Максимальный ТП соответствовал условию $\theta \approx 25°$ (рис. 12). Кривую распределения температуры при $\theta \approx 25°$ можно считать горизонтальной, что согласуется с результатами Экерта и Зоенгена при $\theta \approx 40°$ ($Gr = 26300$) и $\theta \approx 50°$ ($Gr = 42050$) [41]. В работе [9] ТП достигал максимума при $\theta \approx 40°$, однако рассматривавшаяся в ней лампа *H4* толще, чем лампа *H8*. В [9] средней температуре соответствовали $Gr = 13264$ и $Ra = 9086$. В [39], где рассматривалась естественная конвекция вокруг горизонтального нагретого цилиндра, аналогичный результат был получен при $\theta \approx 100°$; *Ra* при этом находилось в интервале между 34363 и 53495. Аналогичная ситуация наблюдалась в [38], где максимальный ТП имел место при $\theta = 0°$и $Ra = 10^7$, тогда как в [37] при $Ra = 10^6$ эта ситуация не наблюдалась.

Кроме того, было установлено [25, 36], что максимум ТП имел ме-

сто не при $\theta = 0°$, а у вершины цилиндра при $\theta \approx 150°$ [25] или при $\theta \approx 160°$ [36]. При этом ТП резко уменьшался при приближении θ к 180°, что не наблюдалось ни в данной работе, ни в других работах, представленных на рис. 12.

В данной работе *Nu* росло прямо пропорционально *Ra*. Как видно на рис. 12, эта тенденция наблюдалась и во всех остальных исследованиях. В данной работе в случае поточечного распределения температуры было получено, что *Ra* лежало в интервале между 6,5 и 81 (среднее значение *Ra* = 41,74), *Nu* – в интервале между 1,95 и 1,34 (среднее значение *Nu* = 1,74), а *Pr* = 0,7. Средней температуре соответствовало *Ra* 9086, а локальное *Nu* лежало между 8,24 и 2,69 (среднее значение *Nu* = 7,16). Температура поверхности цилиндра была больше, чем в [33–35, 41], но меньше, чем в [9]. Характер передачи тепла был таким же, как в случае лампы *H4* [9], но с некоторыми отличиями в части: угла, которому соответствует максимум ТП; влияния излучения на линзу и на рассчитанное на основе поточечного распределения температуры *Ra*; распределения *Nu*. Главное отличие между результатами работы [9] и данной работы связано с влиянием излучения на линзу, которое привело к температурной стратификации внутри лампы, особенно на линзе. В работе [13] было установлено, что структура потока существенно влияет на ТП. Более того, сложная, ассиметричная геометрия лампы, 3-мерность естественного потока и высокая температура поверхности лампы могут вести к турбулентности и росту ТП в замкнутом объёме. Поэтому влияние излучения на параметры при малых размерах фар оказывается большим, чем при больших.

4. Заключение

В данной работе с помощью не зависящих от размеров сетки расчётов определены распределения температуры на поверхностях, характер ТП в окрестности лампы и влияние излучения на элементы конструкции в случае противотуманной фары, работающей в режиме полной нагрузки. Для этого были проведены не зависящие от размера сетки расчёты, и их результаты сопоставлены с результатами измерений. Расчётно полученные температурное поле и оценки разных видов ТП сопоставлены с литературными данными, что позволило заключить следующее:

– Вычислительная гидродинамика – важный инструмент для расчёта влияния излучения и связанных с ним процессов в условиях замкнутого пространства, реализующихся в случае ОП автомобилей. Виды ТП, горячие точки, влияние излучения и связанные с конденсацией проблемы могут исследоваться методами вычислительной гидродинамики.

– Результаты не зависящих от размеров сетки расчётов и статистического анализа очень важны для получения надёжных данных. Сравнение расчётных и экспериментальных данных показало, что не зависящие от размеров сетки расчёты позволяют отказаться от проведения испытаний. Полученные статистические данные могут использоваться для анализа работы и других противотуманных фар.

– Излучение – важный вид ТП, который следует учитывать при расчёте распределения температуры по поверхности линзы ОП автомобиля. В литературе приводятся аналогичные результаты, которые следует учитывать при анализе работы и конструировании этих ОП, таких как противотуманные фары.

– Было показано, что, несмотря на сложную геометрию лампы и неизотермичность поверхностей, потоки внутри фары и параметры переноса тепла остаются такими же, как и при идеальных условиях движения потока – в случае длинного изотермического цилиндра.

– На трёхмерный поток может влиять сложная или ассиметричная геометрия лампы, которая способна вести к турбулентности и повышению температуры. Высокая температура вольфрамовой проволоки влияет на распределения локального *Nu* в окрестности лампы.

– При неправильном выборе материала излучение может оказывать негативное воздействие на линзу. Поэтому необходимы дополнительные исследования по выявлению способов снижения влияния излучения (например, зачернение вершины лампы и т.д.).

– Рекомендуется сосредоточить внимание на исследованиях ТП от ламп, имеющих ассиметричную геометрию, с учётом объёмности источника тепла и отвода тепла от нижней и верхней поверхностей цилиндра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Derlofske, J.V., Bullough. JD., Gribbin, C.* Comfort and visibility characteristics of spectrally tuned high intensity discharge forward lighting systems//European Journal of Scientific Research.– 2007. – Vol. 17, No. 1. – P. 73–84.

2. *Khanh, T.Q.* Lighting Quality for Automotive Lighting Quality // Light & Engineering.– 2014. – Vol. 22, No. 4. – P. 59–63: *Кхан, Т.К.* Качество освещения, создаваемого автомобилями // Светотехника.– 2014.– № 6. – С. 10–13.

3. *Honeywill, T.* Simulation sees. Automotive Engineer (–) (December).2007. 32–33.

4. *Bauer, H.* Automotive Electric/Electronic Systems Lighting Technology. Editor-in-Chief: Horst Bauer. – Stuttgart: Bosch GmbH, 1999.

5. *Wulf, J., Reich, A.* Temperature loads in headlamps / SAE World Congress and Exhibition, Detroit, 2002. doi:10.4271/2002–01–0912.

6. *Sivak, M., Schoettle, B., Flannagan, M.J.* Mercury-free HID lamps: glare and colour rendering // Lighting Research and Technology.– 2006. – Vol. 38, No. 1. – P. 33–40.

7. *Jang, S., Shin, W.S.* Thermal analysis of LED arrays for automotive head lamp with a novel cooling system// IEEE Transactions on Device and Materials Reliability.– 2008. – Vol. 8, No. 3. – P. 561–564.

8. *Fischer, P.* Radiative Heat Redistribution and Natural Convection Flow inside an Automotive Fog Lamp / ISAL 2005 Symp., Germany, Darmstadt, 2005.

9. *Sokmen, K.F., Pulat, E., Yamankaradeniz, N., Coskun, S.* Thermal Computations of Temperature Distribution and Bulb Heat Transfer in an Automobile Headlamp / Int. Comminication Heat and Mass Transfer, 2012. DOI: 10.1007/s00231–013–1229–5 to be published in: Heat and Mass Transfer.

10. *Wulf, J.* Calculation of temperature loads in headlamps / SAE Int. Congress and Exposition, Detroit, 1998. P.: 980315 doi:10.4271/980315.

11. *Kuehn, T.H., Goldstein, R.J.* Numerical solution to the Navier-Stokes equations for laminar natural convection about a horizontal isothermal circular cylinder// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 1980. – Vol. 23, No. 7. – P. 971–979.

12. *Clemes, S.B., Hollands, K.G.T., Brunger, A.P.* Natural convection heat transfer from long horizontal isothermal cylinders// ASME Journal of Heat Transfer.– 1994. – Vol. 116, No. 1. – P. 96–105.

13. *Roychowdhury, D.G., Das, S.K., Sundararajan, T.* Numerical simulation of natural convective heat transfer and fluid flow

around a heated cylinder inside an enclosure// Heat and Mass Transfer.– 2002. – Vol. 38, No. 7–8. – P. 565–576.

14. *Ambrosini, D., Paoletti, D., Spagnolo, G.S.* Study of free-convective onset on a horizontal wire using specle pattern interferometry// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2003. – Vol. 46, No. 22. – P. 4145–4155.

15. *Yamamoto, S., Niiyama, D., Shin, B.R.* A Numerical method for natural convection and heat conduction around and in a horizontal circular pipe// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2004. – Vol. 47, No. 26. – P. 5781–5792.

16. *Corcione, M.* Correlating equations for free convection heat transfer from horizontal isothermal cylinders set in a vertical array// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2005. – Vol. 48, No. 17. – P. 3660–3673.

17. *Molla, M.M., Hossain, M.A., Paul, M.C.* Natural convection flow from an isothermal horizontal circular cylinder in presence of heat generation// Int. Journal of Engineering Science.– 2006. – Vol. 44, No. 13–14. – P. 949–958.

18. *Incropera, F.P., DeWitt, D.P.* Fundamentals of Heat and Mass Transfer (In Turkish). 4th Ed., P.: 540., Istanbul, 2001.

19. *Kreith, F., Bohn, M.S.* Principles of Heat Transfer, 6th ed., California: Brooks/Cole,2001. – P. 317–318.

20. *Cengel, Y.A.* Heat and Mass Transfer (In Turkish). Izmir: Guven Bilimsel Kitabevi, 2011.

21. *Quereshi, Z.H., Ahmad, R.* Natural convection from a uniform heat flux horizontal cylinder at moderate Rayleigh numbers// Numerical Heat Transfer.– 1987. – Vol. 11, No. 2. – P. 199–212.

22. *Molla, M.M., Paul, S.C., Hossain, M.A.* Natural convection flow from a horizontal circular cylinder with uniform heat flux in presence of heat generation// Applied Mathematical Modelling.– 2009. – Vol. 33, No. 7. – P. 3226–3236.

23. *Demir, H.* Experimental and numerical studies of natural convection from horizontal concrete cylinder heated with a cylindrical heat source// Int. Communications in Heat and Mass Transfer.– 2010. – Vol. 37, No. 4. – P. 422–429.

24. *Cheng, C.Y.* Natural convection boundary layer flow of fluid with temperature-dependent viscosity from a horizontal elliptical cylinder with constant surface heat flux// Applied Mathematics and Computation.– 2010. – Vol. 217, No. 1. – P. 83–91.

25. *Newport, D.T., Dalton, T.M., Davies, M.R.D., Whelan, M., Forno, C.* On the Thermal interaction between an isothermal cylinder and its isothermal enclosure for cylinder Rayleigh number of order 10^4// ASME Journal of Heat Transfer.– 2001. – Vol. 123, No. 6. – P. 1052–1061.

26. *Shih, T.I.P.* Application of CFD in the automotive industry: Where do we want to be and how to get there?// Final Report for NSF Grant CTS-0001794 East Lansing, MI, 2001.

27. *Kobayashi, T., Tsubokura, M.* CFD application in automotive industry. In: E.H. Hirschel et al. (Eds.), 100 Vol. Of Notes on Numerical Fluid Mechanics NNFM 100, Heidelberg: Springer, 2009. – P. 285–295.

28. ANSYS CFX 2012 version 12.1, user manual, www.ansys.com/products/ icem-cfd.asp

29. *Henson, J.C., Malalasekera, W.M.G.* Comparison of the discrete transfer and monte carlo methods for radiative heat transfer in three-dimensional, nonhomogeneous, scattering media// Numerical Heat Transfer, Part A, Applications.– 1997. – Vol. 31, No. 1. – P. 19–36

30. *Ji, Y., Cook, M.J., Hanby, V.I., Infield, D.G., Loveday, D.L., Mei, L.* CFD modelling of double-skin façades with venetian blinds. In Proceedings of the IBPSA Building Simulation, 2007. – P. 1491–1498.

31. *Langebach, J., Senin, S., Karcher, Ch.* Experimental study of convection and radiation interaction in a headlight model using pressure variation// Experimental Thermal and Fluid Science.– 2007. – Vol. 32. – P. 521–528.

32. URL: http://203.158.253.140/media/eBook/Engineer/Heat%20And%20Mass%20Transfer/Handbook%20of%20Heat%20Transfer/35558_04.pdfhttp://203.158.253.140/media/eBook/Engineer/Heat%20And%20Mass%20Transfer/Handbook%20of%20Heat%20Transfer/35558_04.pdf (Accessed in 13 August 2012).

33. *Ashjaee, M., Eshtiaghi, A.H., Yaghoubi, M., Yousefi, T.* Experimental investigation on free convection from a horizontal cylinder beneath an adiabatic ceiling// Experimental Thermal and Fluid Science.– 2007. – Vol. 32, No. 2. – P. 614–623.

34. *Wang, P., Kahawita, R., Nguyen, T.H.* Numerical computation of the natural convection flow about a horizontal cylinder using splines // Nmerical Heat Transfer, Part A, Applications.– 1990. – Vol. 17, No. 2. – P. 191–215.

35. *Saitoh, T., Sajik, T., Maruhara, K.* Benchmark solutions to natural convection heat transfer roblem around a horizontal circular cylinder// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 1993. – Vol. 36, No. 5. – P. 1251–1259.

36. *Razavi, S.E., Barar, F., Farhangmer, V.* Characteristics-Based finite-volume soluton for natural convection around a horizontal cylinder// Journal of Applied Sciences.– 2008. – Vol. 8, No. 10. – P. 1905–1911.

37. *Reymond, O., Murray, D.B., O'Donovan, T.S.* Natural convection heat transfer from two horizontal cylinders// Experimental Thermal and Fluid Science.– 2008. – Vol. 32, No. 8. – P. 1702–1709.

38. *Grafsronningen, S., Jensen, A. B., Reif, A.P.* PIV investigation of buoyant plume from natural convection heat transfer above a horizontal heated cylinder// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2011. – Vol. 54, No. 23–24, P. 4975–4987.

39. *Atmane, M.A., Chan, V.S.S., Murray, D.B.* Natural convection around a horizontal heated cylinder: The effects of vertical confinement// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 2003. Vol. 46, No. 19. – P. 3661–3672.

40. *Abu-Hijleh, B.A.K.* Natural convection heat transfer from a cylinder with high conductivity permeable fins// ASME Journal of Heat Transfer.– 2003. – Vol. 125, No. 2. – P. 282–288.

41. *Kreith, F., Bohn, M.S.* Principles of heat transfer, 6th edn., California: Brooks/Cole, 2001. – P. 317–318.

42. *Kuehn, T.H., Goldstein, R.J.* Numerical solution to the Navier-Stokes equations for laminar natural convection about a horizontal isothermal circular cylinder// Int. Journal of Heat and Mass Transfer.– 1980. – Vol. 23, No. 7. – P. 971–979.

Салих Дзошкун (Salih Coşkun). *Окончил Улудагский университет. Доцент Технического лицея Улудагского университета. Область научных интересов: теплопередача и термодинамика*

К. Фуркан Сёкмэн (K. Furkan Sökmen), *Ph.D.* *Окончил Улудагский университет. Доцент Техничекого университета Бурсы. Область научных интересов: вычислительная гидродинамика, теплопередача и термодинамика*

Нуреттин Яманкарадениз (Nurettin Yamankaradeniz). *Окончил Улудагский университет. Сотрудник Технического лицея Улудагского университета. Область научных интересов: системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, термодинамика*

О координатах цветности основных цветов колориметрической системы *КЗС*

*Г.В. БООС, А.А. ГРИГОРЬЕВ**

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: aag.2010@yandex.ru

Аннотация

В статье определены координаты цветности основного цвета ***K*** колориметрической системы *КЗС* в колориметрической системе *XYZ*, а также доказывается несовпадение удельных координат цвета колориметрических систем *КЗС* дихроматов и людей с нормальным цветовым зрением. Показано, что отличие положений максимумов кривых удельных координат цвета ***K*** в этих системах может достигать 15 нм.

Ключевые слова: колориметрическая система, удельные координаты цвета, координаты цветности, основные цвета, колориметрическая система *КЗС*, дихромат, протаноп, дейтераноп.

1. Введение

В настоящее время светотехниками для цветовых расчётов в основном используется рекомендованная МКО колориметрическая система *XYZ*. Качество цветопередачи при искусственном освещении по методике МКО оценивается общим индексом цветопередачи R_a [1,2]. Расчёты общего индекса цветопередачи проводятся [3] в равноконтрастной системе МКО 1964 $U^*V^*W^*$, однако в этой системе не учитывается цветовая адаптация зрительной системы к излучениям разного спектрального состава. Поскольку спектр излучения стандартного источника, который используется для расчёта R_a, как правило, не совпадает со спектром оцениваемого источника, это привело бы к возникновению систематической погрешности при расчёте R_a. Для устранения этой погрешности при расчёте R_a используются коэффициенты фон Криса [1,2], расчёт которых проводится в колориметрической системе *КЗС*. Поскольку коэффициенты фон Криса (таблица Б7 [3]) однозначно определяются координатами цвета излучения в колориметрической системе *КЗС*, то неточности в определении удельных координат цвета этой системы неизбежно приведут к погрешности расчёта R_a.

Поскольку цветовое пространство введено Д. Максвеллом [4] как линейное пространство, то удельные координаты цвета любой колориметрической системы достаточно просто рассчитать, если определены координаты цветности основных цветов этой системы в колориметрической системе *XYZ*.

Традиционный способ определения этих координат для колориметрической системы *КЗС* основан на использовании результатов уравнивания цветностей излучений дихроматами. Известно [2,5], что пучок прямых на диаграмме цветности, которые образуют координаты цветностей излучений, неразличимых дихроматами, пересекается в точке с координатами цветности того основного цвета, к которому у дихромата отсутствует чувствительность. Этот подход, предложенный ещё в 19 веке Д. Максвеллом, А. Кёнигом и К. Дитеричи, даёт правильные результаты только при одном условии: кривые спектральной чувствительности оставшихся у дихромата приёмников должны совпадать с кривыми спектральной чувствительности приёмников человека с нормальным цветовым зрением. Данное утверждение всегда вызывало большие сомнения и не доказано до настоящего времени. Причины сомнений в выполнении этого условия, высказанные разными авторами, можно сформулировать следующим образом:

1) Поскольку у дихромата имеются серьёзные отклонения в спектральной чувствительности рецепторов одного типа, то нет оснований говорить о том, что оставшиеся рецепторы имеют нормальную чувствительность.

2) Если дихроматизм вызван не отсутствием одного из приёмников, а существенным снижением его чувствительности, при которой его реакция захватывается ближайшим доминирующим приёмником, то максимум чувствительности доминирующего приёмника должен смещаться в сторону приёмника с пониженной чувствительностью.

3) От себя добавим, что поскольку причиной дихроматизма являются нарушения на генном уровне, т.к. он передаётся по наследству, то в ходе эволюции должны были выживать те особи, у которых оставшийся приёмник частично компенсирует отсутствующий.

Основной вывод, который можно сделать из этих рассуждений – координаты цветности основных цветов

* Национальный исследовательский университет «МЭИ» (НИУ «МЭИ»)

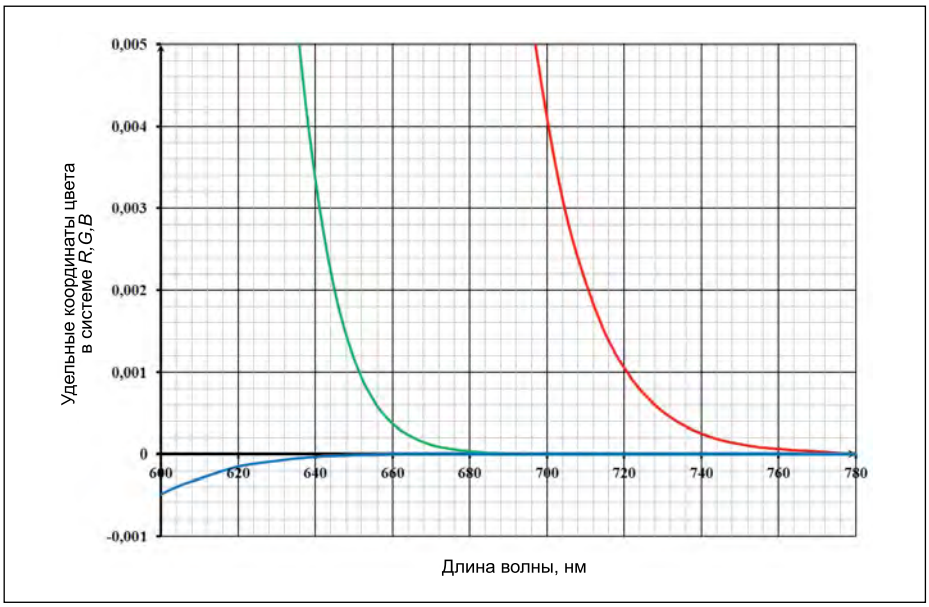


Рис. 1 Удельные координаты цвета цветовой системы *RGB* в красной области спектра.

колориметрических систем *КЗС* человека с нормальным цветовым зрением и дихроматов могут не совпадать. Это будет приводить к погрешностям расчётов в колориметрической системе *КЗС* человека с нормальным цветовым зрением, если вместо неё использовать колориметрическую систему *КЗС* дихроматов.

Задачей проводимого в статье исследования является доказательство несовпадения таких колориметрических систем и выяснения причин их отличия.

В качестве **методов исследования** будем использовать два известных метода: 1) метод сопоставления экспериментальных результатов, полученных для человека с нормальным цветовым зрением и дихроматов и 2) метод математического моделирования для объяснения причин отличия, получаемых экспериментальных результатов.

2. Результаты исследования

Рассмотрим положение координат цветности основного цвета ***K*** колориметрической системы *КЗС*, полученное на основе экспериментов с протанопами и экспериментов, проведённых на людях с нормальным цветовым зрением.

Экспериментальные данные Ф. Пита для пяти протанопов, обработанные Д. Джаддом [5], и эксперименты Е.Н. Юстовой [6] с четырьмя протанопами дают практически совпадающие результаты (0.747; 0.253; 0.0) у Д. Джадда и (0.747; 0.250; 0.003) у Е.Н. Юстовой.

Рассмотрим, какие результаты дают эксперименты для наблюдателя с нормальным цветовым зрением. Цветовые характеристики среднего глаза, рекомендованные МКО, получены усреднением результатов И. Гилда и В. Райта и образуют колориметрическую систему *RGB*. На рис. 1 приведены удельные координаты цвета колориметрической системы *RGB* в красной области спектра. Анализ этих экспериментальных результатов показывает, что при длинах волн монохроматических излучений, больших или равных 700 нм, для установления цветового равенства используется только основной цвет ***R*** ($\lambda = 700$нм), поэтому координаты цветности этих излучений в колориметрической системе *RGB* совпадают с координатами

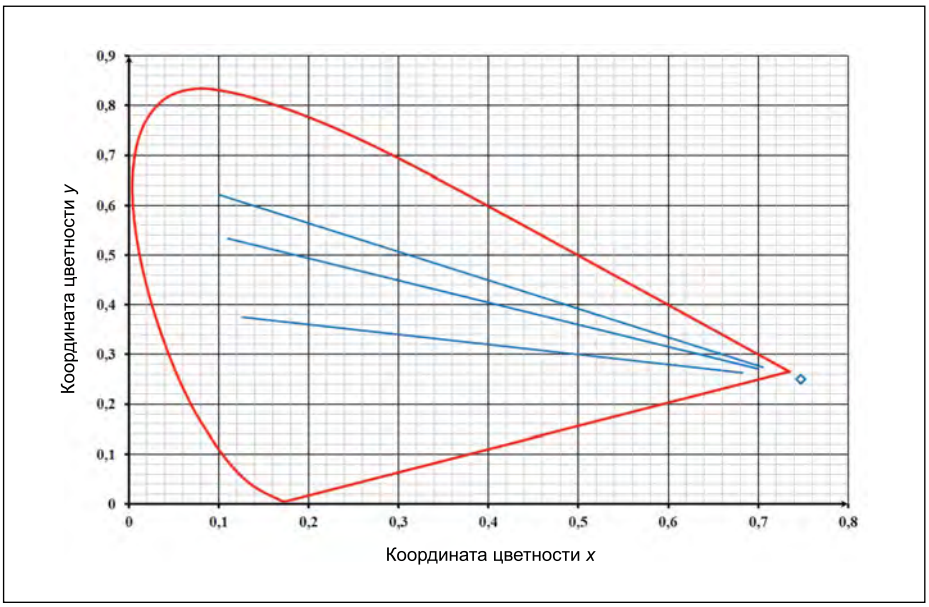


Рис. 2. Координаты цветности основного цвета ***K*** для протанопов по данным Е.Н. Юстовой

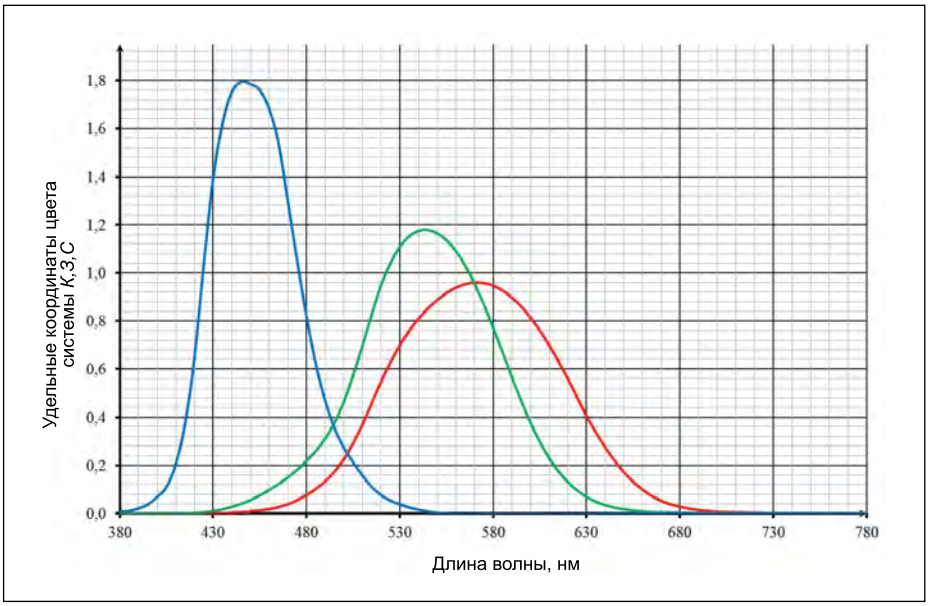


Рис. 3. Удельные координаты цвета системы *КЗС*, полученные по экспериментальным результатам Е.Н. Юстовой.

цветности основного цвета ***R*** – (1,0,0). Для колориметрической системы *КЗС* это означает, что излучение с длинами волн 700 нм и больше возбуждает только один тип колбочек – ***K***, т.к. для установления цветового равенства не нужно возбуждение ни зелёных ***З*** рецепторов излучением ***G*** ($\lambda = 546.1$ нм), ни синих ***C***-рецепторов излучением ***B*** ($\lambda = 435.8$ нм). Из этого следует, что излучения с длинами волн 700 нм и больше имеют в системе *КЗС* координаты цветности (1,0,0). Поскольку координаты цветности этих излучений в системе *XYZ* известны (это координаты цветности основного цвета ***R*** колориметрической системы *RGB*), то можно утверждать, что координаты цветности основного цвета ***K*** в системе *XYZ* равны (0.7347; 0.2653; 0.0).

Это не новость в колориметрии, поскольку эти значения координат цветности основного цвета *K*, правда без достаточного обоснования, использовались и в [7].

Как видно из сопоставления координат цветности основного цвета ***K***, определённых с использованием протанопов и людей с нормальным цветовым зрением, практически совпадают только координаты *z*. Отличия в координатах $x_к$ и $y_к$, $\Delta x_к = 0.0123$ и $\Delta y_к = -0.0123$ (2 % и –5 %).

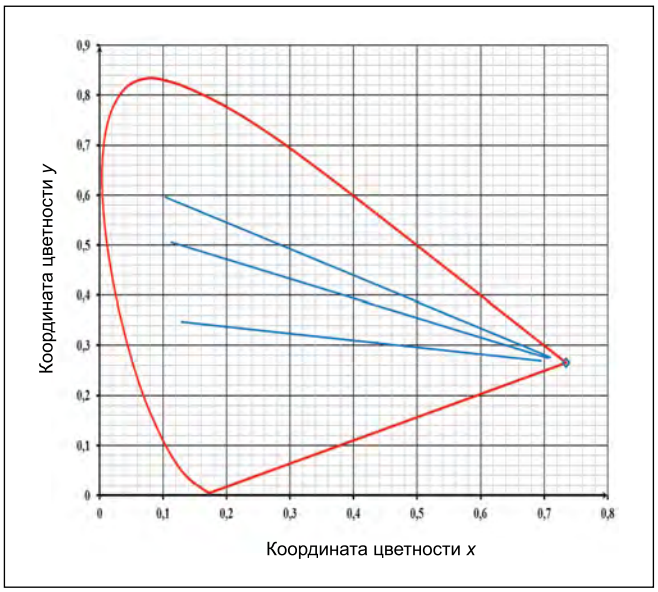


Рис. 4. Координаты цветности основного цвета ***К*** для протанопов со смещённой на 7.2 нм в синюю обдасть спектра функцией $\bar{з}(\lambda)$.

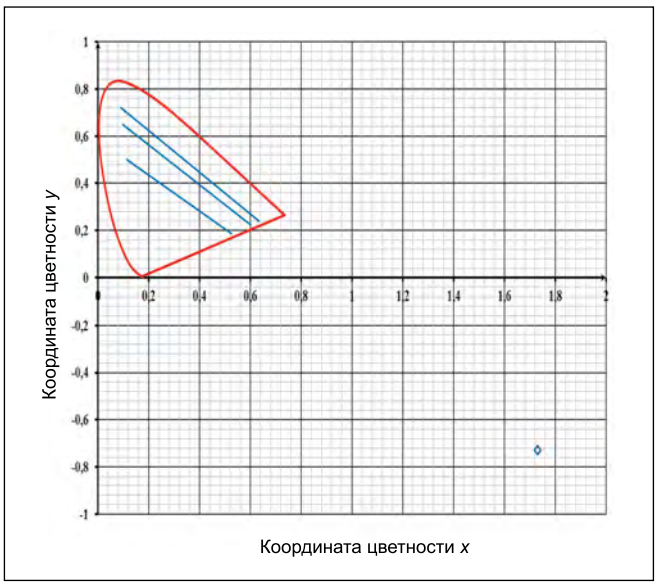


Рис. 5. Координаты цветности основного цвета ***З*** для дейтеранопов по данным Е.Н. Юстовой

Для установления причин отличия результатов И. Гилда и В. Райта от результатов Е.Н. Юстовой и Д. Джадда нами было проведено математическое моделирование экспериментов с дихроматами, для чего была разработана программа, позволяющая по заданным удельным координатам цвета рассчитывать координаты цветности основных цветов любой колориметрической системы в колориметрической системе *XYZ*.

При этом программа позволяет смещать кривые удельных координат цвета вдоль спектра без изменения их формы. Методика получения координат цветности основного цвета ***К***, реализованная в программе аналогична экспериментальной методике, использованной Д. Джаддом и Е.Н. Юстовой, т.е. чувствительность красного рецептора в программе полагалась равной нулю и находились точки пересечения прямых, которые образуют координаты цветностей излучений, неразличимых такими «протанопами».

На рис. 2 приведены результаты расчётов, когда в качестве $\bar{к}(\lambda)$, $\bar{з}(\lambda)$, $\bar{с}(\lambda)$ взяты удельные координаты цвета системы *КЗС*, представленные на рис. 3. Эти функции получаются, если использовать координаты цветности основных цветов колориметрической системы *КЗС*, найденные Е.Н. Юстовой. Как и следовало ожидать мы получили координаты (0.747; 0.250; 0.003), т.е. координаты цветности основного цвета ***К*** найденные Е.Н. Юстовой.

Если положение кривой $\bar{з}(\lambda)$ сместить на 7.2 нм в синюю область спектра, то получатся результаты, представленные на рис. 4. В этом случае координаты цветности основного цвета ***К*** протанопа практически совпадают с координатами цветности основного цвета ***К***, для наблюдателя с нормальным цветовым зрением. Это доказывает, что кривая спектральной чувствительности $\bar{з}(\lambda)$ протанопов смещена в красную область спектра более чем на 7 нм по сравнению с $\bar{з}(\lambda)$ человека с нормальным цветовым зрением.

Прямые, характеризующие цветности излучений, неразличимые протанопами, имеют достаточно большой угол схождения, поэтому координата цветности основного цвета ***К*** для протанопов определяется достаточно точно.

Значительно хуже дело обстоит при определении координат цветности основного цвета ***З*** по экспериментам с дейтеранопами. На рис. 5 представлены результаты расчёта по упомянутой выше программе координат цветности основного цвета ***З*** при использовании $\bar{к}(\lambda), \bar{з}(\lambda), \bar{с}(\lambda)$, полученных Е.Н. Юстовой (рис. 3). При этом, в программе для расчёта, чувствительность зелёного рецептора $\bar{з}(\lambda)$ полагалась равной нулю.

Как и следовало ожидать, мы получили координаты цветности основного цвета ***З***, определённые Е.Н. Юстовой, а именно (1.73; –0.73; 0.00).

В отличие от графиков, полученных для протанопов, прямые на графиках рис. 5 почти параллельны между собой. Это вносит большую погрешность в определение координат точки пересечения прямых, а, следовательно, и в координаты цветности основного цвета ***З***. Именно эта причина приводит к значительным расхождениям в координатах цветности основного цвета ***З***, полученных Д. Джаддом и Е.Н. Юстовой. Данное обстоятельство заставило Н.Д. Нюберга разработать уточняющую методику [8], которая использовала не только направление экспериментальных прямых в цветовом пространстве *XYZ*, полученных для дейтеранопов, но и соотношение яркостей основных цветов колориметра, на котором дейтеранопы уравнивали цветности излучений. Это увеличивает точность определения координат цветности основного цвета ***З***, и поэтому данные, полученные Е.Н. Юстовой можно считать вполне достоверными. Однако они относятся к координатам цветности основных цветов именно ди-

хроматов, а не людей с нормальным цветовым зрением.

Применять эти координаты к людям с нормальным цветовым зрением нельзя потому, что при $y_з$ меньше нуля яркостный коэффициент для основного цвета ***З*** будет меньше нуля. Это противоречит принципу, сформулированному Н.Д. Нюбергом в [9], который позволил ему определить область возможных значений координат цветности основного цвета ***С***. Мы, следуя Н.Д. Нюбергу, также считаем, что яркостные коэффициенты всех основных цветов у наблюдателя с нормальным цветовым зрением должны быть положительны. Рассмотрим, когда это условие может выполняться.

Как было доказано выше, у протанопов функция $\bar{з}(\lambda)$ смещена, по сравнению с наблюдателем, имеющим нормальное зрение, в направлении максимума чувствительности отсутствующего у него приёмника $\bar{к}(\lambda)$, так что, можно предположить, что такое же смещение максимума $\bar{к}(\lambda)$ будет у дейтеранопов в направлении отсутствующего приёмника $\bar{з}(\lambda)$, т.е. в синюю область спектра. Данному предположению есть одно экспериментальное подтверждение. Единственные известные нам эксперименты, по результатам которых были определены кривые $\bar{к}(\lambda)$ и $\bar{з}(\lambda)$ для людей с нормальным цветовым зрением, приведены в работе Н.Т. Фёдорова и В.И. Фёдоровой [10]. Эти весьма небезвредные для глаз эксперименты с искусственной цветовой слепотой показали, что максимум чувствительности красных рецепторов находится в районе 600 нм, в то время как по Е.Н. Юстовой (рис. 3) этот максимум находится на длине волны 570 нм, т.е. отличие составляет 30 нм. Мощное облучение зелёным цветом с $\lambda = 510$ нм, использованное Фёдоровыми, влияет в большей степени на $\bar{з}(\lambda)$, но оно воздействует и на $\bar{к}(\lambda)$, поэтому в количественной мере доверять этим результатам нельзя, но можно отметить, что максимум $\bar{к}(\lambda)$ дейтеранопов смещён в коротковолновую область спектра по сравнению с наблюдателями, обладающими нормальным цветовым зрением. Смоделируем, к чему приведёт смещение максимума $\bar{к}(\lambda)$ дейтеранопов в область больших длин волн, т.е. в направлении предполагаемого максимума $\bar{к}(\lambda)$ человека с нормальным цветовым зрением.

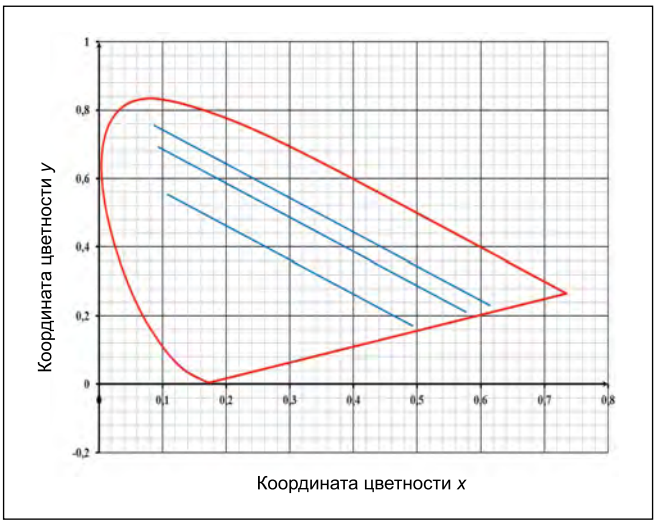


Рис. 6. Прямые неразличимых дейтеранопами цветностей при смещении $\bar{к}(\lambda)$ на 6.4 нм в красную область спектра

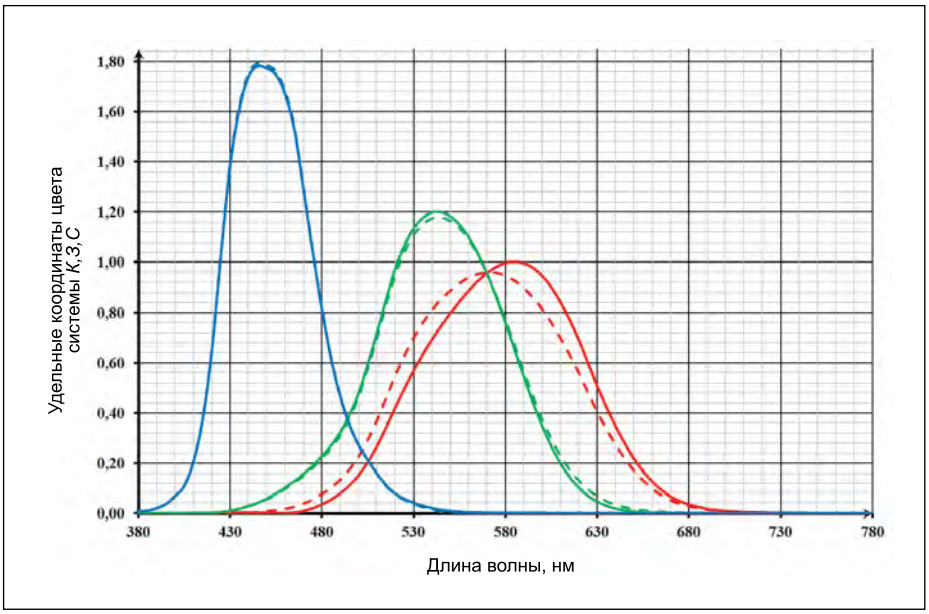


Рис. 7. Удельные координаты цвета колориметрических систем *КЗС* при $y_з > 0$ и $y_з < 0$.

На рис. 6 представлен расчётный график при смещении кривой $\bar{к}(\lambda)$, изображённой на рис. 3, на 6.4 нм в красную область спектра.

Координаты цветности цвета ***З*** на графике рис. 6 не показаны, т.к. прямые на графике параллельны и эти координаты равны (∞; $-\infty$; 0). При дальнейшем смещении $\bar{к}(\lambda)$ в красную область спектра прямые на графике пересекаются при положительном значении координаты *y* и отрицательной координате *x*. Это снимает противоречие, возникающее при использовании результатов исследования дейтеронопов, которые дают отрицательное значением яркостного коэффициента для основного цвета *З*.

Расчёты показывают, что зависимости для $y_з < 0$ и $y_з > 0$ отличаются достаточно сильно. На рис. 7 приведены удельные координаты цвета для $y_З < 0$; (пунктирные кривые) и $y_з > 0$ (сплошные кривые). Отличие в положении максимумов $\bar{к}(\lambda)$ для этих кривых достигает 15 нм.

3. Выводы

1) Координаты цветности двух из трёх основных цветов колориметрической системы *КЗС* человека с нормальным цветовым зрением (*К* и *З*) в колориметрической системе *XYZ* существенно отличаются от соответствующих координат цветности основных цветов колориметрической системы *КЗС* дихроматов.

2) В отличие от распространённого мнения, что все основные цвета колориметрической системы *КЗС* относятся к пространству нереаль-

ных цветов, координаты цветности основного цвета ***K*** расположены на диаграмме цветности и имеют координаты цветности излучений с длинами волн $\lambda \geq 700$ нм, т.е. (0.7347; 0.2653; 0.0). Таким образом основной цвет *K* в колориметрической системе *КЗС* является реальным цветом.

3) Использование колориметрической системы *КЗС* дихроматов вместо колориметрической системы *КЗС* человека с нормальным цветовым зрением приводит к погрешностям при расчётах. Оценить возникающую при этом погрешность пока невозможно, поскольку неизвестны истинные значения ординат сложения цветов для человека с нормальным цветовым зрением.

Колориметрическая система *КЗС* используется не только в ГОСТе [3]. Например, в [11] предпринята попытка разработки дистанционного колориметра на базе колориметрической системы *КЗС*, однако в качестве удельных координат цвета в нём используются функции, полученные с использованием колориметрической системы дихроматов, приведённые в [5]. Это показывает, что разработка метода нахождения удельных координат цвета колориметрической системы *КЗС* человека с нормальным цветовым зрением, первые попытки реализации которого отражены в [12,13], является актуальной задачей, которую необходимо решать и теоретически, и экспериментально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. 972 с.
2. *Мешков В.В., Матвеев А.Б.* Основы светотехники: Учебное пособие для вузов: В2-ч ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат., –1989. –450 с.
3. ГОСТ 23198–94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик.
4. *Maxwell J. Clerk* On the Theory of Compound Colours, and the Relations of the Colours of the Spectrum. // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. –1860. – P. 57–84.
5. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике. – М.: Мир. –1978. –592 с.
6. *Юстова Е.Н.* Определение координатных осей основной физиологической системы из опытов с цветослепыми. // Доклады АН СССР. –1948. – Т. 63. –№ 4. – С. 383–385.
7. *Кустарев А.К.* Об основных цветах физиологической цветовой системы. // Светотехника. –1965. –№ 6. С. 5–11.
8. *Нюберг Н.Д.* Новый способ определения положения основных физиологических цветов из опытов с цветнослепыми. // Доклады АН СССР. 1948. – Т. 63. –№ 4. – С. 379–381
9. *Нюберг Н.Д.* Определение положения в цветовом треугольнике основного синего цвета. // Доклады Академии Наук СССР. –1949. – Т. 65. –№ 2. – С. 159–62.
10. *Фёдоров Н.Т., Фёдорова В.И.* Исследования по цветному зрению. // Известия академии наук СССР, Отделение математических и естественных наук. –1935. – С. 1431–1449.
11. *Заргарьянц Г.С., Михайлов О.М.* Интегральный дистанционный колориметр на основе колориметрической системы КЗФ // Светотехника. – 2008. – № 3, – С. 19–25.
12. *Гордюхина С.В., Григорьев А.А.* Метод определения чувствительности *КЗС* рецепторов на основе статистической модели органа зрения // Вестник МЭИ. – М: Издательский дом МЭИ. – 2010. – № 2. – С. 174–178.
13. *Григорьев А.А., Гордюхина С.В.* Определение удельных координат цвета физиологической системы // Полупроводниковая светотехника. – С-П: Премиум Пресс. – 2011. – № 1. – С. 44–47.

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

Григорьев Андрей Андреевич, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1972 г. МЭИ. Зам. заведующего кафедрой «Светотехника» ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Поздравляем с юбилеем!

Редакция и редколлегия поздравляют общественного корреспондента и большого друга журнала

Рувима Израилевича Пашковского

с 85-летием и желает ему здоровья, счастья и многих лет плодотворного сотрудничества с журналом

Реконструкция спектра по координатам цвета методами анализа главных компонентов и генетической оптимизации*

Б. КРАНИЧ[1], Ж. САВОЛИ[2], А. ХОРВАТ[2]

[1] Веспрем, Венгрия.

[2] Университет им. Иштвана Сечени, Дьёр, Венгрия.

Email: balazskranicz@gmail.com, savolizs@revai.hu, horvatha@sze.hu.

Аннотация

Реконструкция спектра излучения или спектрального коэффициента отражения на основе одних только значений координат цвета невозможна из-за бесконечного количества метамеров. Однако наличие дополнительной информации о типе источника света или поверхности позволяет произвести приблизительную реконструкцию. Этому вопросу было посвящено несколько работ, в которых использовался анализ главных компонентов (АГК): воспользовавшись наборами образцов спектров излучения (или спектральных коэффициентов отражения), можно ограничить область поиска подходящего метамера. В данной работе представлен основанный на АГК новый метод оптимизации, более точный по сравнению с описанными ранее и позволяющий получить неотрицательные гладкие результаты. Использование заранее составленных таблиц позволяет значительно уменьшить как затраты времени, так и требуемый объём памяти. Этот метод позволяет получить хорошо реконструированный реальный спектр иллюминанта или спектральное распределение коэффициента отражения поверхности на основе координат цвета цифрового изображения.

Ключевые слова: реконструкция спектра, координаты цвета, анализ главных компонентов, гладкие метамеры, иллюминанты, справочная таблица.

1. Введение

Одно из важнейших положений колориметрии состоит в том, что любой цветовой стимул можно однозначно описать тремя цифрами, то есть значениями координат цвета в колориметрической системе *XYZ* МКО или координат в любом другом подходящем цветовом пространстве (*RGB*, *Yxy*, *L*a*b**, *L*u*v** и т.д.). Эти координаты цвета можно рассчитать на основе спектральных данных (спектра иллюминанта или спектрального распределения коэффициента отражения поверхности и спектра излучения источника света). Обратное неверно: заданному триплету *XYZ* соответствует бесконечное количество метамеров. Однако для многих светотехнических задач полезно было бы иметь возможность примерно реконструировать спектр на основе значений координат цвета, так как многие приборы измеряют только координаты цвета. Например, если имеются цифровое изображение поверхности и сведения об источнике света, то реконструкция спектрального распределения коэффициента отражения позволяет рассчитать координаты цвета этой поверхности при освещении её другим источником света. Подобным образом можно было бы рассчитать изменение цвета объекта при различных условиях освещения.

Один из актуальнейших вопросов светотехники связан с заменой окружающих нас источников света на более современные и эффективные. Проблема при этом состоит в том, что замена источника света оказывает сложное влияние на восприятие пространства внутри и вне помещений [1, 1a]. При помощи предлагаемого метода реконструкции можно произвести хорошую оценку изменений цвета реального пространства на основе трёхцветных цифровых изображений и информации о типах материалов и источников света. Подобная реконструкция спектра может использоваться при осуществляемом на основе цифровых изображений расчёте яркости в условиях ночного зрения. Аналогичные, но более простые, расчёты были проведены в [2, 2a].

Для выявления хорошего способа реконструкции спектральных данных, колориметристы начали исследовать возможность точного или приблизительного описания спектров отражения поверхностей при помощи всего лишь нескольких цифр. Анализ главных компонентов (АГК), основанный на методах математической статистики и линейной алгебры, оказался особенно действенным и интересным инструментом.

Применению АГК в колориметрии посвящён целый ряд работ, так что его математическое описание не является предметом этой статьи. Публикация [3] даёт общее представление о том, как этот анализ работает. Для эффективного применения этого метода необходимо наличие большого набора известных спектров. АГК позволяет получить собственные векторы и выявить главные компоненты, относящиеся к набору образцов. Во главе упорядоченного по степени важности списка будут находиться наиболее важные собственные векторы. Подробности можно найти в [4–9].

До настоящего времени некоторые исследователи использовали АГК для получения спектральных распределений всех элементов большого набора образцов при помощи нескольких базовых векторов и их весов. Подобным образом можно при помощи линейной комбинации нескольких наиболее важных собственных векторов с ожидаемой точностью полностью воспроизвести тысячи элементов набора образцов. Согласно результатам предшествующих исследований, использование первых трёх собственных векторов позволяет получить достаточно точные результаты, однако если требуется большая точность, то следует проводить реконструкцию с использованием дополнительных векторов. На рис. 1 представлены результаты использования первых трёх и первых пяти собственных векторов применительно к одному из рассмотренных нами образцов. В [10–12] и в [13] приводится более полная информация о роли собственных векторов, получаемых в результате анализа, и о среднем векторе соответственно.

В вышеупомянутых исследованиях описана реконструкция образцов, имеющих известные измерен-

* Перевод с англ. Е.И. Розовского

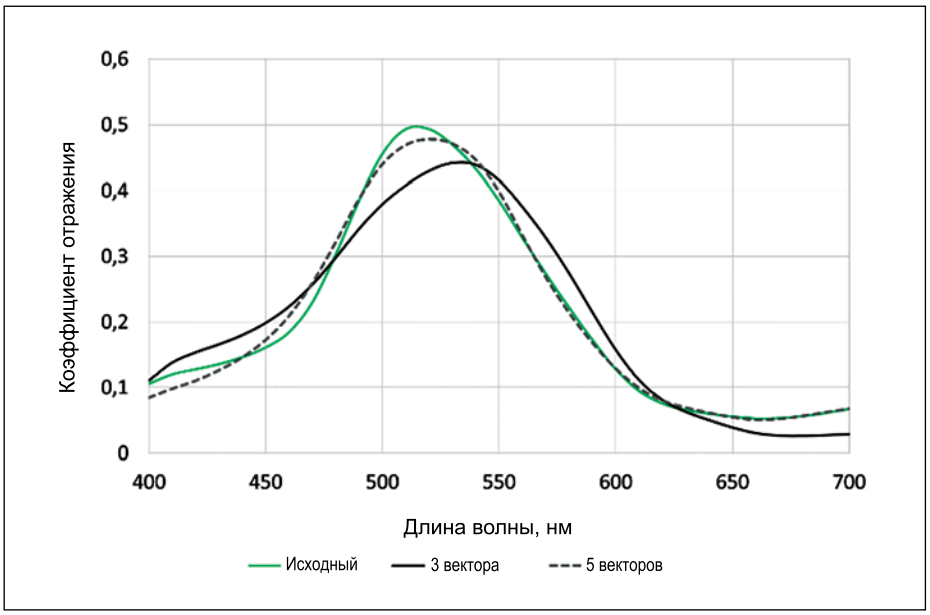


Рис. 1. Спектральные распределения коэффициента отражения: исходное (цветная линия), реконструированное при помощи 3-х векторов (чёрная линия) и реконструированное про помощи 5-ти векторов (пунктирная линия)

ные спектры. Вопрос в том, можно ли, зная только координаты цвета *X*, *Y* и Z, что-то сказать о спектрах цветных образцов, имеющих неизвестные распределения коэффициента отражения. В ряде исследований, посвящённых этому вопросу [14, 15], реконструкция спектра осуществлялась при помощи алгоритма, в котором использовались операции над псевдообратными матрицами. В других исследованиях использовался АГК. Трёх соответствующих координатам цвета собственных векторов, имеющих наибольшие собственные значения, достаточно для получения в результате реконструкции исходных значений *X*, *Y* и Z [16, 17]. Более точные спектры можно получить при большем количестве компонентов, однако при этом система уравнений становится неопределённой, так как если число компонентов будет больше трёх, то координаты цветности можно задать несколькими способами. Из-за этого критичного обстоятельства было решено, что в большинстве случаев будет достаточно трёх векторов.

Точность реконструкции была улучшена посредством разделения системы цветов Манселла, реконструкции поднаборов [18], применения адаптивного алгоритма АГК [19] и использования взвешенного АГК (вАГК) [16]. Хотя любой вариант АГК позволяет с помощью трёх главных компонентов получить метамер, сходный с выбранным элементом набора образцов, наш опыт показывает, что получаемый при этом реконструированный спектр имеет низкое качество, так как в нём присутствуют лепестки и пики. Более того, излучение иногда оказывается отрицательным, что физически невозможно.

В данной статье показано, что, используя для реконструкции более трёх собственных векторов, можно так выбрать один из нескольких возможных метамеров, что реконструированный спектр будет иметь все качественные особенности реального спектра, то есть в нём не будет отрицательных участков и сильных осцилляций. Кроме того, использование большего числа собственных векторов приводит к увеличению точности реконструкции элементов набора образцов.

Основная особенность нашего метода состоит в том, что для получения наиболее качественного метамера, нелинейная оптимизация должна осуществляться с использованием такого количества компонентов, которое несколько превышает их равное трём минимальное количество, приходящееся на каждую пару координат цветности. К счастью, эти сложные расчёты можно произвести заранее. Сначала следует зафиксировать три первых собственных вектора, полученных при помощи АГК для набора образцов, после чего нужно определить коэффициенты собственных векторов для каждого значения цветности из довольно плотной интерполяционной таблицы и сохранить их. Затем, если мы рассматриваем образец, спектр которого нам неизвестен, то следует, исходя из координат цветности образца, считать из таблицы значения коэффициентов собственных векторов. В результате мы можем быстро получить метамер, который согласуется с элементами набора образцов и имеет хорошее качество.

В отличие от предшествующих работ, в рамках этого метода реконструкция основана не на прямом использовании измеренных спектров из обучающего набора (*training set*), а на использовании координат цвета доступных образцов, наиболее значимых собственных векторов и вышеупомянутых коэф-

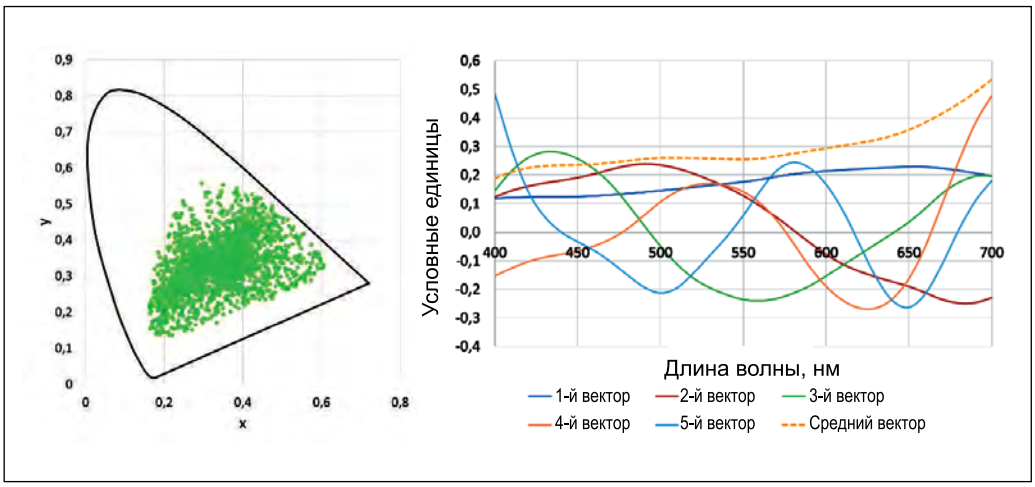


Рис. 2. Распределение образцов тканей на графике цветностей *x, y* МКО. Средний вектор (пунктирная линия) и первые 5 собственных векторов для этих образцов

фициентов. Образцы из исходного обучающего набора служат только для определения собственных векторов.

И наконец, для простоты мы рассматривали не спектры излучения, а спектральные распределения коэффициентов отражения поверхностей. Поэтому мы исследовали спектры излучения, отражённого от поверхностей при освещении их различными иллюминантами с известными спектральными распределениями энергии. Более того, мы хотели бы знать, что происходит в случае, когда нам неизвестен спектральный состав иллюминанта. Рассматривались следующие иллюминанты МКО: *E*, *D65*, *D50*, *A* и *F11*, а также белые светодиоды (СД) с люминофорами и трёхполосные белые СД с коррелированной цветовой температурой 5000 и 6504 К. Из-за ограничений на размеры статьи, мы можем продемонстрировать только реконструкцию применительно к иллюминанту *E* МКО.

2. Математическое описание оптимизации

При проведении расчётов мы работаем со спектрами излучения (спектральными распределениями коэффициентов отражения), имеющими заданное разрешение, вследствие чего вместо непрерывных функций мы используем конечномерные векторы. Пусть N – количество измерений этих векторов, и если, например, мы рассматриваем спектр в интервале 400–700 нм с шагом 10 нм, то $N = 31$.

Обозначим получаемые при помощи АГК и упорядоченные по убыванию собственные значения, как $\tau_1 \geqslant \tau_2 \ldots \geqslant \tau_N \geqslant 0$, собственные векторы, соответствующие этим собственным значениям, как $v_1, v_2 \ldots v_N$, а средний вектор, как m. Линейная комбинация M собственных векторов и главные компоненты $c_1, c_2 \ldots c_M$ формируют следующий спектр:

$$f(c_1, c_2 \ldots c_M) = \sum_{i=1}^{M} c_i \cdot v_i + m, \quad (1)$$

где $f(c_1, c_2 \ldots c_M)$ – M-мерный вектор.

При фиксированном значении M переменные $c_1, c_2 \ldots c_M$ определяют собой спектр, реконструированный в соответствии с уравнением (1). На следующем этапе мы формируем функцию, отражающую различие между спектром этого типа и идеальным спектром. Это различие мало в случае неотрицательных гладких метамеров и становится всё более значительным по мере отклонения координат цвета от заданных или если функция сильно осциллирует или становится отрицательной. Соответствующие полученному спектру координаты цвета легко рассчитать при помощи функций сложения цветов:

$$X_0 = \sum_{i=1}^{N} f_i \cdot S_i \cdot \bar{x}_i,\ Y_0 = \sum_{i=1}^{N} f_i \cdot S_i \cdot \bar{y}_i,\quad Z_0 = \sum_{i=1}^{N} f_i \cdot S_i \cdot \bar{z}_i, \quad (2)$$

где $\bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i$ – дискретные варианты функций сложения цветов, имеющие такое же разрешение, как и спектр, S_i – дискретное представление спектрального распределения энергии иллюминанта. Очевидно, что значения X_0, Y_0 и Z_0 зависят от коэффициентов c_i, но для краткости мы на этом останавливаться не будем.

Для демонстрации того, насколько значения X_0, Y_0 и Z_0 отклоняются от заданных значений X, Y и Z, можно рассчитать сумму квадратов разностей между этими величинами:

$$d_0(c_1, c_2 \ldots c_M) = (X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2. \quad (3)$$

Если метамер удовлетворяет требованиям, то d_0 равно нулю. Если $M = 3$, то описывающая метамер система уравнений имеет единственное решение. Многие исследования, в которых применялся АГК, останавливались на получении этого решения. Если $M > 3$, то возможно бесконечное количество решений, и можно выбрать наиболее реалистичное из них, воспользовавшись для этого ограничениями в части отрицательных значений и сильных осцилляций. Дополнительные сведения можно найти в [20].

Целевая функция, минимум которой считается соответствующим наиболее качественному метамеру, записывается следующим образом:

$$d(c_1, c_2 \ldots c_M) = d_0 + P_n + P_v, \quad (4)$$

где d_0 рассчитывается по уравнению (3), а P_n и P_v учитывают наличие отрицательных значений и осцилляций соответственно [20]. В общем случае, d представляет собой нелинейную функцию M переменных, минимум которой соответствует наилучшему для наших целей варианту. Другими словами, вектор $(c_1, c_2 \ldots c_M)$, задающий положение экстремальных значений, представляет собой оптимальную весовую совокупность собственных векторов, которые использовались при реконструкции.

3. Метод оптимизации

Для того, чтобы определить минимум функции $d(c_1, c_2 \ldots c_M)$, описываемой уравнением (4), мы воспользовались нашей собственной программой генетической оптимизации. Генетический алгоритм был выбран потому, что функция d имеет много локальных минимумов (в основном, по причине наличия учитывающего осцилляции члена), а градиентные методы в этих случаях обычно не позволяют найти абсолютный минимум.

В нашем генетическом алгоритме используются стандартные генетические операторы, например, мутация и вычёркивание, а для ускорения нахождения локальных максимумов в ней используется ступенчатый поиск (*hill-climbing steps*). Мы уже использовали эту программу для решения приближённых к производству задач оптимизации [21].

Программа оптимизации может начать расчёты и с самого начала, ничего не зная о возможном положении максимума в исследуемом пространстве, однако имеется возможность ввести информацию о том, что определённый элемент должен содержаться в рассматриваемой начальной генеральной совокупности. Последняя особенность очень полезна, так как если мы хотим составить результирующие таблицы, то приходится использовать программу поиска оптимальных коэффициентов c_i для нескольких схожих координат цветности (x, y). В некоторых случаях, когда пары (x, y) близки друг к другу, оптимальные наборы коэффициентов также близки друг к другу.

Некоторые свободные параметры программы оптимизации, такие как вероятность мутаций, размер генеральной совокупности и т.д., были определены на предварительной стадии, на которой было выполнено большое количество пробных расчётов.

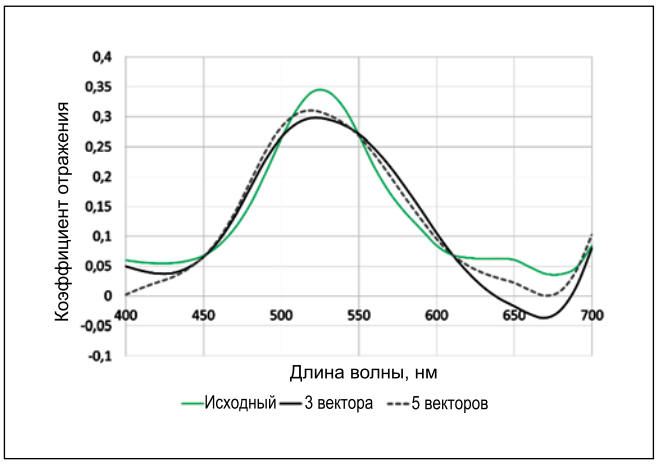


Рис. 3. Спектральные распределения коэффициента отражения: исходное (цветная линия), реконструированное при помощи 3-х векторов (M = 3) и функции d_0 (чёрная линия) и реконструированное про помощи 5-ти векторов (M = 5) и функции d (пунктирная линия)

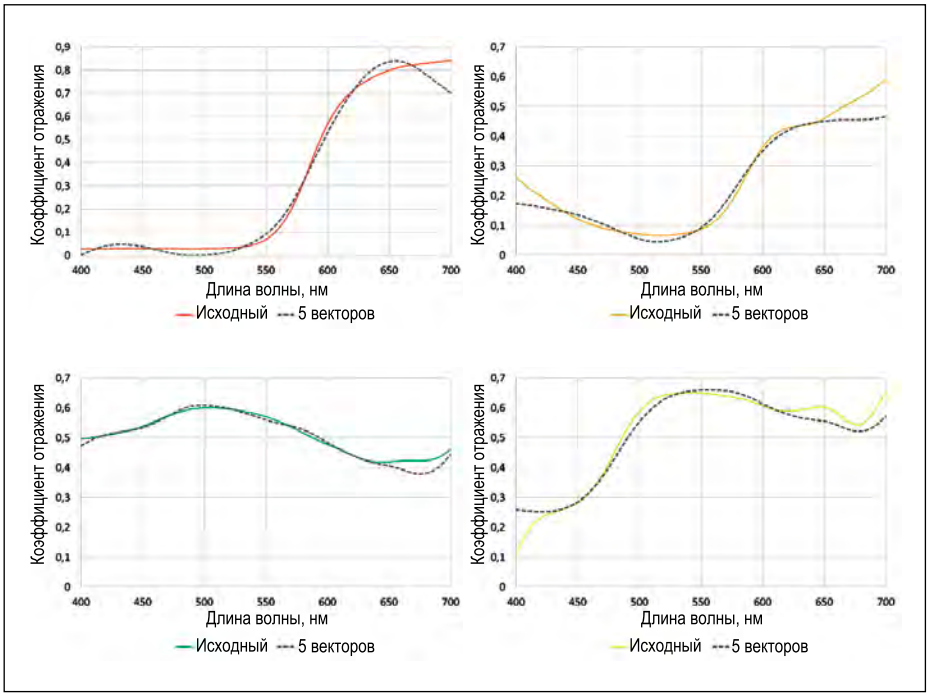


Рис. 4. Реконструкция спектральных распределений коэффициентов отражения четырёх образцов, отобранных из обучающего набора (M = 5): исходный спектр – цветная линия, реконструированный спектр – пунктирная линия

4. Исследование образцов тканей

Вначале мы использовали 2832 образца тканей. Коэффициенты отражения образцов задавались в диапазоне 400–700 нм с шагом 10 нм (N = 31). Это предполагает 31-мерное пространство, так что собственные векторы были 31-мерными. Эти спектры использовались для формирования собственных векторов АГК v_i. АГК для совокупности образцов выполнялся при помощи программного обеспечения *Matlab*. На рис. 2 показаны распределение образцов тканей, а также пять собственных векторов и средний вектор m, который играет очень важную роль.

На следующем этапе упомянутая выше реконструкция была произведена применительно к нескольким выбранным случайным образом образцам тканей с целью получения идеальных коэффициентов c_i. Если M = 3, то мы получаем единственный метамер с хорошей степенью аппроксимации. Это метамер несколько искажён из-за наличия нежелательных членов, однако отклонение полученных в результате значений X_0, Y_0 и Z_0 от заданных было меньше чем ...[2] тысячных. С другой стороны, при увеличении M стали очевидными преимущества нашего метода: мы получили столь же точные метамеры, но функции оказались более гладкими и исчез качественный недостаток, связанный с наличием у первоначальной функции отрицательных значений. Соответствующий пример приведён на рис. 3.

Так как задача является 31-мерной, то идеальной реконструкции нельзя ожидать даже при M = 5, однако с другой стороны, можно заметить, что использование 5-ти собственных векторов улучшает как количественные, так и качественные характеристики полученного метамера. Согласно предварительным расчётам, после M = 5 дальнейшее увеличение M приводит к очень медленному улучшению точности и качества, одновременно значительно увеличивая время оптимизации. Поэтому целесообразно использовать именно это значение. На рис. 4 показаны выбранные случайным образом из нескольких десятков вариантов четыре реконструкции цветных образцов, осуществлённые с использованием полученных при помощи АГК наиболее важных собственных векторов и коэффициентов, которые были определены при помощи генетического алгоритма оптимизации. Можно заметить, что отклонения имеют место, в основном, на краях видимой области спектра. Так как на этих участках функции сложения цветов МКО имеют очень малые значения, то упомянутые отклонения влияют намного меньше, чем если бы они имели место внутри видимой области спектра.

Среднее значение показателя точности аппроксимации (*goodness of fit coefficient*), обеспечиваемой новым алгоритмом, составляет 0,9926. Максимальное значение этого показателя равно 0,9996. Эти данные говорят о том, что наш метод, то есть использование пяти собственных векторов и наложение ограничений на спектральные распределения коэффициентов отражения реальных образцов, обеспечивают большую точность реконструкции.

По-видимому, при приближении к насыщенным цветам, которые располагаются около границы графика цветности МКО, полностью неотрицательное решение нельзя получить даже с помощью оптимизации. Причина состоит в том, что у очень насыщенного цвета поверхности отсутствует реальная пара метамеров, или

[2] Значение в оригинале не приведено. – Прим. пер.

этот цвет вообще не встречается в реальности, вследствие чего оптимизация способна сформировать только нереальные метамеры.

5. Быстрый поиск коэффициентов с помощью справочных таблиц

Если известны координаты цвета образца, то можно реконструировать спектр одного из его метамеров, который похож на неизвестный исходный спектр и имеет хорошее качество, обеспечиваемое описанным выше методом. Единственная проблема заключается в том, что необходимая оптимизация занимает очень много времени. При $M = 5$ оптимизация одной тройки координат цвета на быстродействующем современном персональном компьютере занимает 5–10 мин. На практике это является существенным препятствием, например, если мы хотим провести реконструкцию на основе пикселей цифровой фотографии.

К счастью, АГК заданного набора образцов необходимо произвести только один раз. Если однажды провести оптимизацию применительно к большому количеству образцов и сохранить полученные коэффициенты c_i, то впоследствии можно на их основе очень быстро реконструировать спектр.

Что касается цифровых фотографий, то применительно к ним мы выбрали координаты цветности x и y и светлоту Y, хотя оптимизация возможна и с использованием других эквивалентных координат. Затем мы рассматриваем гипотетическую фотокамеру, у которой спектральные чувствительности цветовых каналов совпадают с функциями сложения цветов МКО. Такая же точность возможна и в случае реальной фотокамеры, но при этом следует знать её спектральную чувствительность.

Для выполнения поставленной задачи мы накладываем на график цветностей x, y МКО сетку с равным 0,01 по обеим осям размером ячеек и определяем значения коэффициентов в каждой из точек сетки. Порядок действий при этом следующий. Сначала на основе координат цвета наблюдаемого образца определяются координаты цветности x и y:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z},\ y = \frac{Y}{X+Y+Z}. \qquad (5)$$

Так как информация о светлоте (Y) в пространстве (x, y) отсутствует, то мы используем значение $Y = 18{,}42$, полученное применительно к области, занимаемой реальными цветными образцами в цветовом пространстве xyY. Это значение Y аналогично с равному $L^* = 50$ светлотному фактору в цветовых пространствах *CIELAB* и *CIELUV*. Это то значение, при котором диаметр области, отображающей реальные цветные образцы (цветовое тело) становится, похоже, наибольшим для этих цветовых пространств. На следующем этапе мы определяем значения X' и Z', соответствующие $Y' = 18{,}42$:

$$X' = \frac{Y'}{y}\cdot x,\ Z' = \frac{Y'}{y}\cdot(1-x-y). \qquad (6)$$

Хотя на самом деле мы и не получим коэффициенты c_i, соответствующие исходным значениям X, Y и Z, тем не менее, умножив спектральное распределение коэффициента отражения, которое было получено в результате линейной комбинации, проведённой с использованием этих коэффициентов c_i, на Y'/Y, мы с хорошей степенью аппроксимации получим спектр, соответствующий исходным значениям координат цвета X, Y и Z. На рис. 5 показаны немасштабированный спектр, соответствующий координатам цвета X', Y' и Z', и масштабированный спектр, соответствующий исходным координатам цвета X, Y и Z.

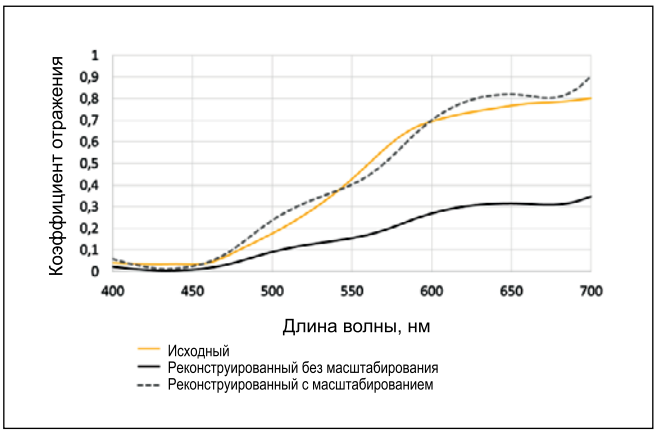


Рис. 5. Спектральные распределения коэффициента отражения, полученные с масштабированием и без масштабирования: исходное (цветная линия), реконструированное без масштабирования (чёрная линия) и реконструированное с масштабированием (пунктирная линия)

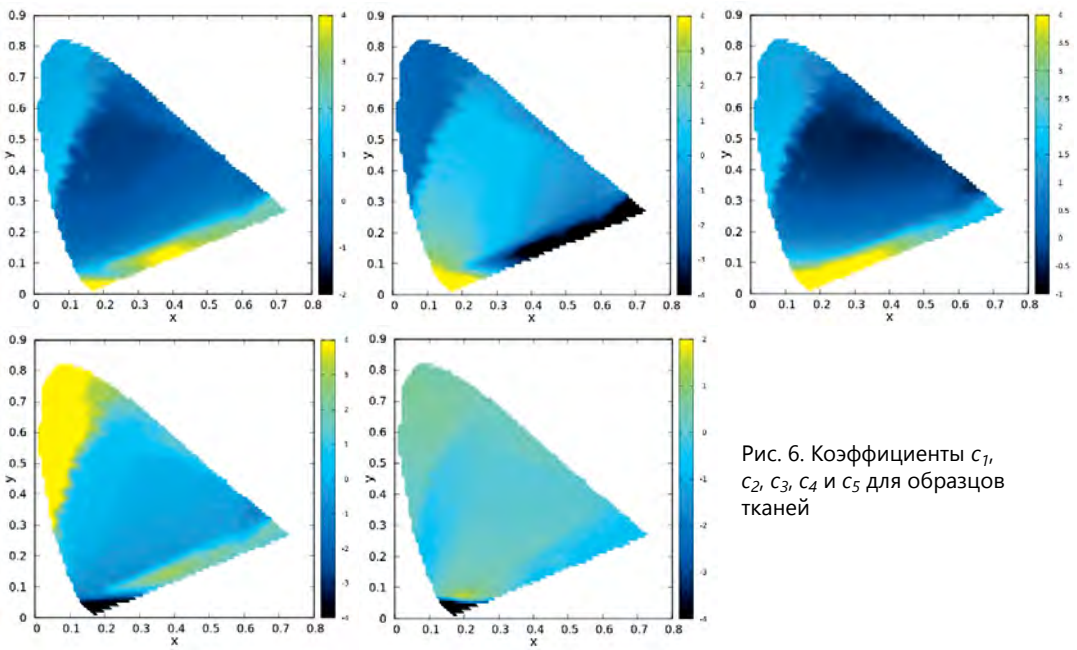


Рис. 6. Коэффициенты c_1, c_2, c_3, c_4 и c_5 для образцов тканей

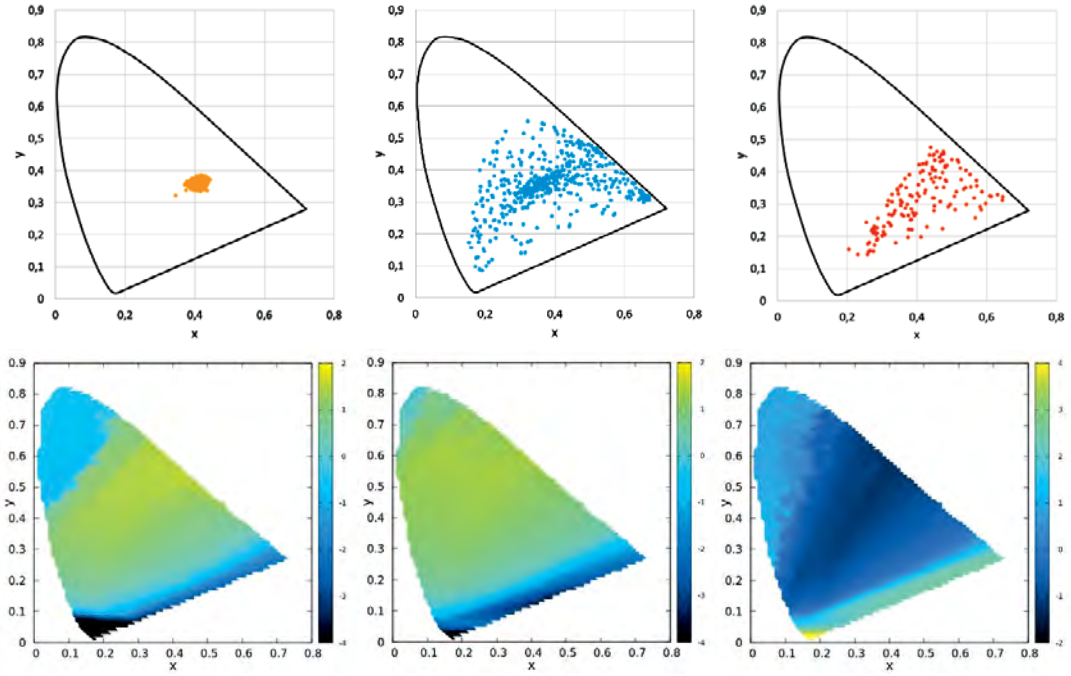


Рис. 7. Распределения образцов кожи, красок и цветков на графике цветностей *x, y* МКО и соответствующие им коэффициенты c_1

Таблица 1

Средние значения ΔE^*_{ab}, среднеквадратичного отклонения и показателя точности аппроксимации для спектров, полученных с масштабированием на основе значений (*x, y*)

ΔE^*_{ab}, излучатель *A* МКО	0,0110
ΔE^*_{ab}, излучатель *E* МКО	2,1072
ΔE^*_{ab}, излучатель *D65* МКО	0,5059
Среднеквадратичное отклонение	0,0414
Показатель точности аппроксимации	0,9922

Этим способом мы получили спектры дюжины образцов, используя при этом только координаты цветности *x* и *y* этих образцов и определённое заранее значение *Y'*. Усреднённые по реконструированным спектрам значения ΔE^*_{ab}, среднеквадратичного отклонения и показателя точности аппроксимации приведены в табл. 1.

С использованием масштабирования были получены хорошие результаты, аналогичные полученным ранее и намного лучшие, чем результаты, которые были получены с использованием классического АГК или вАГК, и это относится ко всем параметрам (табл. 2).

Коэффициенты, соответствующие заданным точкам пространства (*x*, *y*), сохраняются в справочных таблицах, причём для хранения всех данных требуются пять блоков размером 75×85 (в соответствии с размером цветового пространства (*x*, *y*) МКО). Реконструкцию можно производить при помощи этих таблиц, пяти первых собственных векторов АГК, среднего вектора и значений *X*, *Y* и *Z* цветного образца или пикселя, спектр которого неизвестен.

Теперь коэффициенты c_i, принадлежащие парам *x*, *y*, можно считывать из этих сформированных таблиц. Эти коэффициенты следует подставить в уравнение (1), после чего полученный в результате спектр надо масштабировать описанным выше образом.

Если нужная пара *x*, *y* не соответствует ни одной ячейке справочной таблицы, то искомые коэффициенты можно получить при помощи линейной интерполяции соседних значений.

Формирование справочных таблиц осуществляется в два этапа. Вначале, после расчётов, выполняемых в пределах всего поискового пространства с выбранной случайным образом начальной генеральной совокупностью (*population*), производится оптимизация. Полученные в результате справочные таблицы используются на втором этапе оптимизации. В этом случае исходная генеральная совокупность содержит коэффициенты, соответствующие соседним элементам таблиц, сформированным на первом этапе. Этот этап уменьшает вероятность сохранения результата, соответствующего локальному минимуму, так как предполагается, что оптимальные коэффициенты, соответствующие расположенным рядом друг с другом точкам, практически совпадают.

На рис. 6 приведены обозначенные разными цветами коэффициенты c_i для образцов тканей. Можно заметить, что положения коэффициентов на графике цветностей *x, y* МКО несколько осциллируют. Осцилляции составляют примерно 1–2 %, и их влиянием на реконструированный спектр можно пренебречь.

6. Что нужно для реализации метода

Для быстрого получения конечных результатов следует хранить следующие данные:

– средний вектор, определённый при помощи АГК, и первые *M* векторов. А это $(M + 1)\cdot N = 6\cdot 31 = 186$ значений с плавающей запятой;

– *M* таблиц размером 75×85 с разрешением 0,01. А это $M\cdot 75\cdot 85 = 5\cdot 75\cdot 85 = 31875$ значений с плавающей запятой.

Даже если мы храним данные с двумя знаками после запятой, то это означает 256 кБайт данных, что очень мало по сравнению с объёмами памяти современных компьютеров, даже переносных.

Таблица 2

Величины, описывающие точность реконструкции спектра на основе данных, представленных в [16] для прочих образцов тканей при освещении их стандартным излучателем *D65* МКО*

	Новый алгоритм		АГК [16]		вАГК [16]	
	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
ΔE^*_{ab}, излучатель *A* МКО	1,3674	3,0269	3,200	9,740	1,820	5,040
ΔE^*_{ab}, излучатель *E* МКО	0,0100	0,0230	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
ΔE^*_{ab}, излучатель *D65* МКО	0,3926	0,8852	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Среднеквадратичное отклонение	0,0300	0,0412	0,073	Нет данных	0,059	Нет данных

* Согласно таблице, в [16] приведены данные не для излучателя *D65*, а для излучателя *A*.– Прим. пер.

Объём требуемых расчётов также невелик. Мы можем получить x и y из значений X, Y и Z посредством менее чем 10-ти операций. Требуемые значения c_i можно получить при помощи интерполяции содержащихся в таблицах данных, что при $M = 5$ означает менее чем 100 операций. Зная c_i, можно решить уравнение (1), затратив на это $M{\cdot}N{\cdot}2 + N = 341$ операцию, так что на реконструкцию на основе координат цвета потребуется менее чем 1000 операций.

Так что важной особенностью этого метода является то, что после проведения АГК и составления справочных таблиц, реконструкция спектра требует очень небольшого объёма памяти и занимает мало времени. Потребность в ресурсах останется реальной, даже если для достижения большей точности увеличить значения M и N.

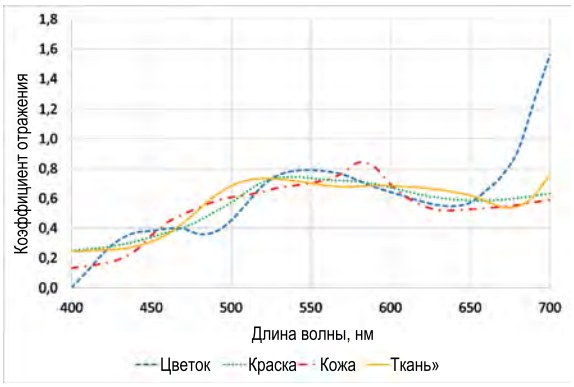


Рис. 8. Спектры, реконструированные применительно к заданным координатам цвета с использованием разных обучающих наборов[3]

7. Использование других наборов цветных образцов

Возникает вопрос, а какими будут коэффициенты и реконструированный спектр, если вместо образцов тканей использовать другие образцы. Предполагается, что при использовании других обучающих наборов тем же самым значениям X, Y и Z будут соответствовать другие спектры. Мы провели анализ применительно к 168-ми образцам цветков, 565-ти образцам красок и 9533-ём образцам кожи человека (рис. 7) и сформировали справочные таблицы. Для того, чтобы размеры статьи оставались в разумных пределах, на рис. 7 показано только распределение коэффициентов c_i. У разных наборов образцов они явно разные.

Второй вопрос состоит в том, как обусловленные использованием разных наборов данных изменения собственных векторов и коэффициентов c_i влияют на реконструированный спектр. Другими словами, если заданы координаты цветности x и y и соответствующие этим координатам цветности спектры были получены с использованием четырёх наборов образцов и масштабирования, то насколько реконструированные спектры отличаются друг от друга? Соответствующий пример приведён на рис. 8, где показан реконструированный спектр для $x = 0{,}37$, $y = 0{,}41$.

На рис. 8 видно, что заданным значениям координат цвета соответствуют разные спектры, которые зависят от использовавшегося обучающего набора. Реконструированные спектры образцов тканей демонстрируют меньшие осцилляции, чем спектры образцов красок и цветков, что определяется их особенностями. Дополнительные сведения можно найти в [22].

В целом, мы можем реконструировать спектр на основе координат цветности цветного образца с неизвестным спектром и определить его особенности, если неизвестными образцами были кожа, краска или цветок. Конечно, этот метод можно сделать более точным, если увеличить количество наборов данных или увеличить количество образцов, входящих в существующие наборы.

8. Выводы

Основной целью этого исследования являлось выявление возможности такого определения спектра метамера для цветного образца с неизвестным спектром, чтобы полученные результат был максимально

[3] Авторы везде используют термин «*reflectance*», то есть «коэффициент отражения», который не должен быть больше единицы, однако на рис. 8 спектральное распределение коэффициента отражения, реконструированное с использованием набора образцов цветков, при больших длинах волн превышает 1, что никак не комментируется. – Прим. пер.

близок к реальному спектру и имел хорошее качество. Поэтому применительно к заданному иллюминанту мы использовали пять, а не три собственных векторов АГК и воспользовались генетическим алгоритмом для получения на основе этих векторов коэффициентов, описывающих наименее осциллирующие и по возможности неотрицательные метамеры. Наш метод позволяет получить соответствующие сетке на графике цветности *x, y* МКО коэффициенты, которые необходимые для получения в дальнейшем спектров различных цветных образцов. Результаты могут храниться в имеющей малый объём памяти компьютера, и для их использования требуется произвести очень мало расчётов. Очевидно, что наш метод обеспечивает возможность определить спектр в тех случаях, когда не хватает данных для реализации других способов оптимизации. При наличии некоторой информации о содержании картинки этот метод позволяет произвести примерную реконструкцию спектров даже при помощи переносных компьютеров. Результаты расчётов показывают, что этот метод реконструкции спектров применим к разным иллюминантам [20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Habel, J., Žák, P.* The present and future of lighting engineering, Light & Engineering// –2012.– Vol. 20, No. 2.– P. 5–11.

1a. *Жак, П., Хабел, Й.* Настоящее и будущее светотехники// Светотехника.– 2012.– № 2.– С. 74–77.

2. *Horváth, A., Dömötör, G.* Computational Simulation of Mesopic Vision Based on Camera Recordings// Light & Engineering.– 2014.– Vol. 22, No.1.– P. 61–67.

2a. *Дёмётёр Г., Хорват А.* Компьютерное моделирование сумеречного зрения на основе видеозаписей// Светотехника.– 2014.– № 4.– С. 33–38.

3. *Tzeng, D.Y., Berns, R.S.* A Review of Principal Component Analysis and Its Application to Color Technology// Color Research and Application.– 2005.– Vol. 30, No. .– P. 84–98.

4. *Maloney, L.T.* Evaluation of linear models of surface spectral reflectance with small numbers of parameters// Journal of Optical Society of America.– 1986. Vol. 3.– P. 1673–1683.

5. *Jaaskelainen, T., Parkkinen, J., Toyooka, S.* Vector-subspace model for color representation// Journal of Optical Society of America.– 1990.– Vol. 7.– P. 725–730.

6. *Vrhel, M.J., Gershon, R., Iwan, L.S.* Measurement and analysis of object reflectance spectra// Color Research and Application.– 1994.– Vol. 19.– P. 4–9.

7. *García-Beltrán, A., Nieves, J.L., Hernández-Andrés, J., Romero, J.* Linear bases for spectral reflectance functions of acrylic paints// Color Research and Application.– 1998.– Vol. 23.– P. 39–45.

8. *Tajima, J.* A huge spectral characteristics database and its application to color imaging device design// Proc. of the 6th IS&T/SID Color Imaging Conference, IS&T, Springfield, VA, 1998.– P. 86–89.

9. *Hardeberg, J.Y, Schmitt, F., Brettel, H.* Multispectral color image capture using a liquid crystal tunable filter// Opt. Engineering.– 2002.– Vol. 41.– P. 2533–2548.

10. *Maloney, L.T., Wandell, B.A.* Color constancy: a method for recovering surface spectral reflectance// Journal of Optical Society of America.– 1986.– Vol. 3.– P. 29–33.

11. *D'Zmura, M.* Color constancy: surface color from changing illumination// Journal of Optical Society of America.– 1992.– Vol. 9.– P. 490–493.

12. *Dannemiller, J.L.* Spectral reflectance of natural objects: how many basis functions are necessary?// Journal of Optical Society of America.– 1992.– Vol. 9, No. 4.– P. 507–515.

13. *Worthey, J.A., Brill, M.H.* Principal Components Applied to Modeling: Dealing with the Mean Vector// Color Research and Application.– 2004.– Vol. 29, No. 4.– P. 261–266.

14. *Zhao, Y., Berns, R.S.* Image based spectral reflectance reconstruction using Matrix R method// Color Research and Application.– 2007.– Vol. 32.– P. 343–351.

15. *Babaei, V., Amirshahi, S.H., Agahian, F.* Using weighted pseudo-inverse method for reconstruction of reflectance spectra and analyzing the dataset in terms of normality// Color Research and Application.– 2011.– Vol. 36.– P. 295–305.

16. *Farnaz, A., Seyed, A.A., Seyed, H.A.* Reconstruction of reflectance spectra using weighted principal component analysis// Color Research and Application.– 2008.– Vol. 33, No. 5.– P. 360–371.

17. *Simone, B.* Reflectance spectra recovery from tristimulus values by adaptive estimation with metametric shape correction// Journal of Optical Society of America.– 2010.– Vol. 27, No. 8.– P. 1868–1877.

18. *Zhang, X., Xu, H.* Reconstructing spectral reflectance by dividing spectral space and extending the principal components in principal component analysis// Journal of Optical Society of America.– 2008.– Vol. 25.– P. 371–378.

19. *Mansouri, A., Sliwa, T., Hardeberg, J.Y., Voisin, Y.* An adaptive-pca algorithm for reflectance estimination from color images// Proc. of the 19th IEEE International Conference on Pattern Recognition, 2008.– P. 1–4.

20. *Sávoli, Zs., Kránicz, B., Horváth, A.* Spectral reconstruction in case of different illuminants// Annals of Faculty Engineering Hunedoara – Int. Journal of Engineering, University Politehnica Timisoara, 2016, Vol. 14.1.– P. 45–54.

21. *Horváth, A., Horváth, Z.* Optimal shape design of Diesel intake ports with evolutionary algorithm. M Feistauer (szerk.) Numerical Mathematics and Advanced Applications, ENUMATH 2003

22. *Sávoli, Zs., Horváth, A., Kránicz, B.* Spectral reconstruction with genetic optimization in case of different sample sets// Acta Technica Jaurinensis, Széchenyi István University, Győr.– 2016.– Vol. 9, No. 1.– P. 54–64.

Балаш Кранич (Balázs Kránicz), *Ph.D. Соавтор многочисленных научных публикаций, имеет патенты в области колориметрии. Преподавал в Университете Паннонии, Веспрем, Венгрия*

Жолт Саволи (Zsolt Sávoli). *Окончил Сегедский университет им. Аттилы Йожефа, Венгрия. Аспирант Университета им. Иштвана Сечени (колориметрия)*

Андраш Хорват (András Horváth). *Ph. D. (1999 г.). Окончил Университет им. Лоранда Этвёша (Будапешт, Венгрия) по специальности «Физика» (1992 г.). Доцент физико-химического факультета Университет им. Иштвана Сечени*

Модели зрительного дискомфорта от блёсткого источника

В.П. БУДАК, Т.В. МЕШКОВА

НИУ «МЭИ», Москва
E-mail: BudakVP@mpei.ru

Аннотация

Рассматриваются современные модели дискомфортной блёскости от искусственных источников света малых и больших размеров, анализируются граничные условия применимости этих моделей. Главное внимание уделяется определению дискомфортной блёскости от источников с неравномерным распределением яркости, исходя из физического смысла явления, и рассмотрению шкалы критериев дискомфортной блёскости.

Ключевые слова: показатель дискомфортной блёскости, неравномерное распределение яркости, светодиоды, блёсткий источник.

1. Введение

Все формулы для количественной оценки дискомфортной блёскости (ДБ) предполагают, что блёсткий источник света (БЛ) и фон обладают равномерным распределением яркости. Но в сложной сцене при наличии блёскости от отражающих поверхностей, становиться неясно, что на самом деле представляет собой БИ, а что – фон.

При этом нормируемые значения освещённости не всегда гарантируют комфортность световой среды, и в случае неравномерного распределения яркости в поле зрения наблюдателя необходимо ввести новую характеристику, как например, пространственно-угловое распределение яркости. Все светотехнические программы основаны на принципе обеспечения количественных показателей освещения. С учётом новой храктеристики появится возможность моделирования осветительной установки (ОУ) заданного качества освещения, что важнее с точки зрения комфорта.

На сегодня во всём мире существует более десятка моделей ДБ, и каждый исследователь оценивает блёскость по-разному. Это мешает объективно сравнивать разные модели друг с другом. В результате мы имеем связи между факторами, которые служат причиной возникновения ДБ, но не реальный критерий того, насколько хорошо разные модели соответствуют фактическим ощущениям.

2. Физический смысл явления дискомфортной блёскости

На современном языке блёскость может быть описана как помеха для зрения при ярком освещении. Д. Вейч и Д. Ньюшам [1] описали её следующим образом: «Блёскость для света, то же самое, что и шум для звука. Так же, как шум – нежелательная акустическая энергия, так и блёскость – нежелательная световая энергия». Светотехническое общество Северной Америки (*IESNA*) определяет ДБ как «ощущения от яркости в поле зрения, которая значительно больше яркости, к которой глаз адаптируется...» [2]. Международная комиссия по освещению (МКО) делает различие между ограниченной ДБ (*Disability Glare*), определяемой как «блёскость, которая ухудшает условия видения объектов, не обязательно вызывая ДБ», и ДБ (*Discomfort Glare*), которая определяется как «блёскость, которая необязательно ухудшает видимость объектов» [2].

В отечественной практике понятие ДБ рассматривается совокупно с понятием адаптации глаза к окружающей среде и зрительной индукцией. Так, согласно «Справочной книге по светотехнике» (2006 г.), снижение функции зрения при наличии в поле зрения ярких БИ называют блёскостью, которая, в свою очередь, служит примером отрицательного индуктивного действия (снижение функции зрения при неравномерном распределении яркости в поле зрения, а также при наличии в поле зрения ярких БИ). ДБ – также пример отрицательного индуктивного действия. Но в этом случае снижение зрительной функции необязательно, нарушаются только условия комфортного зрения, наиболее проявляющиеся со временем.

При этом снижение зрительных функций при повышенной яркости периферии поля зрения по сравнению с яркостью его центральной части принято объяснять возникновением вуалирующей пелены.

Разница между ослеплением и ДБ прекрасно описана в указанной справочной книге, но на практике в европейском сообществе понятия блёскости и ДБ идут нога в ногу друг с другом. И все известные описания ощущения ДБ дословно выражают ощущения блёскости. В Европе (кроме понятия *UGR*, о котором говорится ниже) не различают эти два понятия и ищут только пороговое значение блёскости.

Поэтому, отталкиваясь от физического явления вуалирующей пелены, считаем, что физическому смыслу блёскости от БИ, вызывающей дискомфорт, наиболее соответствует мнение Ньюшама: ДБ от БИ в поле зрения наблюдателя – шум, при котором не возникает такой степени ослепления, когда нарушаются функции зрения.

Аналогично определению шума, ДБ от БИ – беспорядочные колебания разной физической природы, отличающиеся сложностью временной структуры разной интенсивности и частоты, неблагоприятно воспринимаемый свет. Как и шум звукового диапазона, ДБ от ярких БИ в поле зрения наблюдателя замедляет реакцию человека и распознавание объектов, что снижает внимание и увеличивает число ошибок при выполнении разных видов работ.

Предположим, что согласно нормальному распределению плотности вероятности p случайной величины x, ощущение ДБ может быть описано как

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \qquad (1)$$

где μ – математическое ожидание (среднее распределение), медиана и мода распределения, σ – среднеквадратическое отклонение (σ^2 – дисперсия) распределения.

Тогда ДБ от БИ будет подобна отношению сигнал/шум *SNR* (*Signal to Noise Ratio*):

$$SNR = \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} = \frac{L_{\text{сигнал}}}{\sigma_{\text{шум}}},$$

где $P_{\text{сигнал}}$ – средняя мощность сигнала, $P_{\text{шум}}$ – средняя мощность шума, $L_{\text{сигнал}}$ – средняя яркость сигнала (яркость БИ), $\sigma_{\text{шум}}$ – среднеквадратическое отклонение распределения шума. И сигнал, и шум измеряются в полосе пропускания системы.

Предположим, что фон имеет пуассоновский характер распределения, для которого дисперсия σ^2 равна математическому ожиданию, тогда

$$SNR = \frac{L_{\text{сигнал}}}{\sqrt{L_{\text{шум}}}}, \qquad (2)$$

где $L_{\text{шум}}$ – яркость фона.

3. Обзор моделей дискомфортной блёскости

Основными общими параметрами в моделях ДБ являются сила света БИ, которая определяется через его яркость, размеры и расположение, и состояние адаптации глаза наблюдателя. Непостоянство ощущений наблюдателя учитывается в двух моделях – *VCP* (*Visual Comfort Probability* – вероятность зрительного комфорта) и *DGP* (*Discomfort Glare Probability* – вероятность ДБ). Они выражают степень ослепления (в процентном отношении) наблюдателей, которые считают степень ослепления не ниже установленного уровня отсчёта. Остальные модели представляют ДБ как среднее или среднее по шкале наблюдателей. При этом ни в одной модели не учитываются культурные различия наблюдателей.

• История создания модели *VCP* вкратце такова. М. Лакиш и Л. Холлэдей (первые, кто применил психофизическую оценку к блёскости), разработали шкалу комфортно-дискомфортной блёскости или градацию ощущений от едва заметного до невыносимого и болезненного. Их исследование явилось предпосылкой комплексного измерения ощущения ДБ, с которого началось развитие модели *VCP* [3]. В исследовании М. Лакиша и С. Гата 1949 года изучались зависимости ощущения ДБ как граничного значения яркости между комфортной блёскостью и ДБ в яркостном диапазоне 1080–5488 кд/м^2 от размера БИ (опорное исследование проводилось при размере БИ 0,0011 ср), яркости фона или поля яркости (опорное исследование – при 34 кд/м^2) и положения БИ в поле зрения (опорное исследование – на уровне линии зрения) [4].

Экспериментальная установка в этом исследовании состояла из расширенного поля зрения равномерной яркости, созданного двумя третями 2-метрового фотометрического шара с лампой, расположенной вблизи от его центра, чтобы обеспечить равномерное поле освещённости. Источники света располагались за круглыми отверстиями в поверхности сферы, предусмотренными для ярких источников света. Наблюдатели помещались в центр шара так, что голова наблюдателя находилась «ровно по центру».

Экспериментальная методика состояла в оценке ощущения блёскости при кратковременном появлении БИ в поле зрения наблюдателя при условии равномерного распределения яркости фона. При кратковременном воздействии БИ яркость адаптации принималась равной яркости фона. Цикл исследований включал в себя три посекундных периода «вкл.», разделённых на 1 с периоды «выкл.», с последующей 5-секундной паузой. Наблюдателям разрешалось провести столько циклов, сколько необходимо для оценки. Для оценки *BCD* (*Brightness in the Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort* – яркость в поле зрения на границе комфортной блёскости и ДБ) 50 наблюдателями регулировалась исходная яркость для определения собственного критерия *BCD*.

В последующих экспериментах значения яркости фона составляли 3,4; 34 и 340 кд/м^2, размеры БИ – (0,0001–0,126) ср, положения БИ относительно линии зрения по вертикали, горизонтали и диагонали – (0–100)°. Эти эксперименты прошли 10 наблюдателей. В ходе исследований были получены только предварительные выводы по рассматриваемым линейным БИ и установлена необходимость дальнейших исследований.

М. Лакиш и С. Гат неофициально сообщили, что продолжительность воздействия БИ несильно влияла на оценки ДБ, и модель *VCP* не включает продолжительность воздействия в качестве зависимого параметра [4].

Это исследование вызвало немало дискуссий. Встали вопросы по опыту с 10-ю наблюдателями и критерию их выборки из исходных 50-ти. Также была выявлена необходимость дальнейших исследований по непрерывным и кратковременным воздействиям и дополнительных исследований по различию лабораторных и реальных результатов измерений.

Несмотря на то, что *IESNA* (*lluminating Engineering Society of North America* – Светотехническое Сообщество Северной Америки) официально рекомендует использование модели *VCP*, существуют некоторые ограничения, так как *VCP* была испытана и утверждена лишь для ОУ со светильниками с люминесцентными лампами с вторичной оптикой [2]. *VCP* не следует применять в случаях очень малых БИ, таких как лампы накаливания и разрядные лампы ВД, и очень больших БИ, таких как потолочные и встроенные светильники, а также неоднородных БИ, таких как параболические отражатели. Учитывая эти ограничения, можно утверждать, что оценка ДБ по *IESNA* на самом деле справедлива только для очень небольшого процента осветительных средств (для БИ направленного света).

Формула для определения вероятности зрительного комфорта, рекомендованная *IESNA*:

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{G} e^{-t^2/2}\, dt,$$

где $G = 6{,}374 - 1{,}3227\, ln(DGR)$; *DGR* (*Discomfort Glare Rating*) – степень ДБ, определяемая как

$$DRG = \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{0,5 L_i Q_i}{p_i L_a^{0,44}} \right]^{N^{0,0914}},$$

$Q = 20,4\omega + 1,52\omega^{0,2} - 0,075$, L_i – габаритная яркость светящей части i-го светильника в направлении глаз наблюдателя, кд/м^2; ω_i – телесный угол светящей части i-го светильника, из точки наблюдения, ср; p_i – индекс позиции БИ относительно линии зрения наблюдателя по Гату; L_a – яркость фона, кд/м^2, рассчитываемая как $E_{ind} \cdot \pi^{-1}$ – отражённая составляющая вертикальной освещённости на уровне глаз стандартного наблюдателя (принимается на высоте линии зрения стандартного наблюдателя равной отражённой вертикальной освещённости на стенах на данной высоте); N – число светильников в осветительной установке.

Стоит обратить внимание, что результаты исследования М. Лакиша и С. Гата 1949 года по нахождению граничного уровня ДБ напоминают гауссовское распределение шума, что подтверждает наше предположение относительно физического смысла ощущения. Внешний вид формулы (2) соответствует по форме нормальному гауссовскому распределению (1) при $\mu = 0$ и $\sigma = 1$.

• Далее коснёмся британского показателя ДБ (*British Glare Index*). Совместные исследования С. Гата (США) и Р. Хопкинсона (Великобритания) положили начало большой работе по ДБ в конце 1940-х, создавшей основу британского показателя ДБ. Чтобы определить уровень ощущения ДБ, Хопкинсон использовал четыре точки на семантической шкале: «просто невыносимо», «просто неудобно», «просто приемлемо» и «так же незаметно». Его экспериментальная установка состояла из модели в виде чёрно-белых фотографий классной комнаты. БИ были созданы в виде отверстий в фотографиях с задним освещением. Яркость адаптации создавалась освещением спереди. При целом ряде разных яркостей БИ наблюдателей просили отрегулировать яркость адаптации так, чтобы БИ соответствовали одной из точек на семантической шкале.

Основная формула британского показателя (ощущения) ДБ от единичного БИ – *Glare Sensation (g)*:

$$g = \frac{0,9 L_s^{1,6} \omega_s^{0,8}}{L_b p^{1,6}}, \qquad (3)$$

где L_S – яркость БИ, кд/м^2; ω_S – телесный угол, стягиваемый светящей частью i-го светильника, из точки наблюдения, ср; L_b – средняя яркость поля зрения наблюдателя, включая блёсткий БИ, кд/м^2; p – индекс позиции БИ по отношению к линии зрения по М. Лакишу и С. Гату (определяется по таблице значений на основе геометрии помещения, которая включает в себя БИ, расположенные в диапазоне до 62º выше линии зрения) [5].

Общий же показатель ДБ, *Glare Index (GI)*, – результат суммирования по всем БИ в осветительной установке:

$$GI = 10 \cdot lg(0,5 \sum g),$$

где g определяется по формуле (3).

• Известна также т.н. «Система ограничения ДБ». Д. Дебоэр (Германия), посчитав, что суммирование «вкладов» отдельных БИ, используемое в показателях *VCP* и *GI*, неточно, предложил другой подход к учёту суммарного действия БИ (при этом его коллеги Андт, Бодман и Мак в своих исследованиях 1959 года, проанализировав разные формулы с таким суммированием, обнаружили, что ни одна из них не подходит к случаям наблюдения нескольких БИ). Д. Дебоэр был убеждён, что надёжная система определения ДБ должна быть основана на субъективных оценках осветительной установки в целом, а не на суммировании «вкладов» отдельных БИ [5].

«Система ограничения блёскости» отличается отсутствием уравнения, которое определяет ощущение и параметры, влияющие на степень ослепления, а просто устанавливает пределы по яркости. Следовательно, этот подход ограничен по возможностям оценки ДБ от конкретной осветительной установки соответствующими ограничениями по яркости.

• Технический комитет *ТС 3–4* МКО в попытке объединить лучшие стороны основных систем оценки дискомфортной блёскости, в том числе *VCP*, британский показатель дискомфортной блёскости, и систему ограничения блёскости разработал показатель ДБ *CGI* (*CIE Glare Index*) (Публикация МКО № 55, 1983). Основная формула для расчёта *CGI*:

$$CGI = 10 \cdot lg \left[0,1 \frac{1 + E_d/500}{E_d + E_i} \sum_{i=1}^{N} \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2} \right], \qquad (8)$$

где E_d и E_i – соответственно, прямая (от всех БИ) и отражённая (от окружающих поверхностей) освещённости на зрачке глаза наблюдателя.

Отношение $(1 + E_d/500)/(E_d + E_i)$ обеспечивает ковариантность в числителе и адаптацию в знаменателе. Ковариантность означает, что блёскость меняется непосредственно как и E_d (по сравнению с контрдисперсией, означающей, что блёскость с ростом E_d снижается) [6]. Адаптация обеспечивает реализм в очень тёмных помещениях, где E_i очень слаба, так что значение *CGI* не уходит в бесконечность (так, блёскость не возникает в пещере, освещённой свечой, где E_i почти нулевая) [7]. На сессии МКО 1989 года, с подачи технического комитета МКО ТС3–13, это отношение было заменено на $1/L_b$ в <u>окончательной</u> формуле для *CGI* по следующим причинам:

Вычисление E_d требует огромного количество времени и усилий. А так как исключение этого параметра не приводит к значительной потере точности, то и решили его исключить.

Ковариантность и адаптация – факторы, которые требуют дополнительного изучения, прежде чем они могут быть введены в расчётную практику [8]. При замене отношения $(1 + E_d/500)/(E_d + E_i)$ на $1/L_b$ *CGI* явно не обеспечивает ковариантности для прямой составляющей адаптации.

• Далее, заменив константы 10 и 0,1 в <u>окончательной</u> формуле для *CGI*, соответственно, на 8 и 0,25, МКО ввела объединённый показатель дискомфорта *UGR* (*Unified Glare Rating*), являющийся критерием ДБ:

$$UGR = 8lg \left[\frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^{N} \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2} \right]. \qquad (4)$$

L_b определяется здесь как равномерная яркость в поле зрения, которая даёт такую же вертикальную освещённость на зрачке наблюдателя, как и в поле зрения без БИ.

МКО также ввела некоторые расширения основного выражения (4) для малых БИ, больших светящих поверхностей и «отражённого неравномерного света», но без ссылок на какие-либо исследования, так что неясно, как именно эти расширения были получены.

• В отечественной практике до недавнего времени для регламентации зон повышенной яркости, создающих ощущение ДБ, использовался показатель ДБ *M*:

$$M = \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{L_i^2 \omega_i}{p_i^2 L_a} \right]^{0.5},$$

где L_i – средняя яркость *i*-го пятна повышенной яркости в направлении глаз наблюдателя, кд/м^2; ω_i – телесный угол, стягивающий *i*-е пятно, относительно глаз наблюдателя, ср; L_a – средняя яркость поля адаптации наблюдателя, кд/м^2; – индекс позиции *i*-го пятна относительно линии зрения наблюдателя по Гату; *N* – число пятен в поле зрения наблюдателя. При этом для определения p_i БИ используется следующая зависимость [9]:

$$p_i = \exp\left[\begin{array}{l} \left(35{,}2 - 0{,}31889\alpha_i - 1{,}22\mathrm{e}^{2\alpha_i/9}\right)10^{-3}\theta_i + \\ +(21 + 0{,}26667\alpha_i - 0{,}002963\alpha_i^2)10^{-5}\theta_i^2 \end{array} \right],$$

где α_i – угол между вертикалью и плоскостью, проходящей через линию зрения наблюдателя и *i-й* БИ, град; θ_i – угол между линией зрения наблюдателя и направлением на *i-й* БИ, град.

• Из количественных методов определения ДБ следует обратить внимание и на метод, разработанный в МЭИ под руководством М.М. Епанешникова. Количественной характеристикой в нём служит показатель ДБ $M_Д$, который для одного пятна, вызывающего ДБ, выражается как

$$M_Д = \frac{L_б}{\varphi(\theta)} \sqrt{\frac{\omega}{L}},$$

где $L_б$ – яркость пятна, вызывающего ДБ; ω – телесный угол, стягивающий это пятно, относительно глаз наблюдателя, ср; L_a – яркость адаптации; $\varphi(\theta)$ – индекс позиции, определяемый по специальной номограмме [10].

Условиям, при которых половина наблюдателей не отмечает ДБ, соответствует значение $M_д = 25$.

• Ещё одна количественная оценка сводится к определению такого значения $L_б$, которое лежит на границе комфорт – дискомфорт. Назовём его $L_{гр}$. По Беннету [11]

$$L_{гр} = \frac{95 L_a^{0,3} \exp(0{,}05 \cdot \theta)}{\omega}.$$

• В настоящее время в России для оценки ДБ используется рекомендованный МКО показатель *UGR* (4), позволивший перейти от качественной оценки дискомфортной блёсткой яркости к расчётному показателю. Однако формула (4) справедлива только для БИ малого углового размера, для которых $0{,}003 \leqslant \omega \leqslant 0{,}1$.

Для определения показателя ДБ используется ГОСТ Р 54943–2012 «Здания и сооружения. Методы определения показателя дискомфортной блёскости при искусственном освещении в помещении».

Все вышерассмотренные подходы к определению ощущения ДБ объединяет допущение равнояркости БИ. Однако существует метод расчёта *URG* на основе яркостных карт для неоднородных БИ.

Для оценки ДБ МКО предложило использовать распределение яркости (CIE205:2013). Благодаря высокому разрешению яркостных карт единичный светильник можно делить на несколько частей. На яркостной карте выбираются разные комбинации пикселей, принимаемые для расчёта *URG* за единый светильник. Но поскольку *URG* зависит от числа разбиений и алгоритма группировки, то нельзя считать такой расчёт точным. Для расчёта используется формула (4) для БИ малых размеров, в основе которой лежит сила света. Поэтому данный метод тоже не подходит для расчёта ДБ от БИ неравномерной яркости, так как в основе лежит формулировка показателя *URG*, который был получен при исследовании БИ равномерной яркости малых размеров.

4. Дискомфортная блёскость. Экспериментальные проблемы

Существует очень мало известных основных механизмов, приводящих к ДБ. Фрай и др. изучали отношение колебания размера зрачка и роли радужной оболочки в ощущении ДБ. Они обнаружили, что ДБ формируют колебания размеров зрачка. С. Берман и др. исследовали электрическую активность, связанную с лицевыми мышцами, и её отношение к ДБ. Результат этого исследования – хотя между движениями лицевых мышц и субъективной оценкой ДБ и существует значительная корреляция, движение мышц лица, вероятно, не причина ДБ, а следствие; и соответственно, причина ДБ по-прежнему не выявлена. Предполагалось также, что существует объективная мера оценки ДБ, не опирающаяся на субъективные данные [12].

Субъективные исследования по ДБ показали большие разногласия. Исследования показали довольно слабую корреляцию между предсказанными значениями и ответами наблюдателей. Манейб оценивал 42 осветительные установки 63-мя наблюдателями. Корреляция была оценена между каждой моделью и условиями оценки ДБ. Корреляция для модели *VPC* составила 0,63, в результате чего значительное число отклонений оказалось необъяснимым. Тем не менее, когда в более поздних исследованиях для расчёта использовалась формула (4), корреляция была выше, доказывая, что *URG* – лучшая из расчётных моделей.

Факторов, способствующих слабой корреляции, может быть много. Есть, например, проблемы измерения яркости современных светильников (уровни яркости рассчитываются через измерение средней освещённости от тестируемых светильников, но это справедливо лишь для БИ равномерной яркости), есть соответствующие процедурные и психологические факторы, а также демографические различия наблюдателей.

На корреляцию также влияет качество обучения методике определения ДБ: неточные инструкции приводят к значительным расхождениям в результатах и большим отклонениям. Согласно исследованиям Лула и Беннетта (1981 г.), ответ наблюдателя зависит и от диапазона стимулов, представленных в исследовании. А в более поздних исследованиях С. Гата (1951 г.) изучалась роль продолжительности воздействия стимула, не выявившая её существенного значения.

Ряд психологических факторов, таких как настроение, уровень стресса и тревоги могут влиять на результаты оценок корреляции [12]. При этом большая продолжительность (в часах) воздействия БИ может восприниматься иначе, чем кратковременная.

Беннетт (в 1972–1977 годах) выявил зависимость демографических различий на ощущение ДБ. Он также обнаружил небольшую корреляцию между ощущением ДБ и цветом глаз и выявил зависимость этого ощущения от положения наблюдателя внутри или вне помещения.

5. Заключение

Все вышерассмотренные формулы для моделей ДБ в помещении не подходят для определения ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости, поскольку в большинстве ситуаций размер БИ превышает 0,1 ср, а также из-за того, что во всех экспериментах в том или ином приближении рассматриваются БИ с равномерным распределением яркости.

Причём, если говорить о разных моделях для БИ малых и больших размеров, то, очевидно, невозможно их прямое сравнение, потому что зависимая переменная (уровень ДБ) является субъективной мерой, измеряемой поразному в каждой расчётной модели.

Основная причина различия «формулировок» ДБ – отсутствие общепринятого объективного подхода к изучению ощущения ДБ. Поскольку успех эксперимента зависит от грамотного обучения методике определения ДБ, каждый исследователь использовал разные шкалы ощущения блёскости, а также субъективно интерпретировал каждое деление шкалы, получая субъективную оценку. Так, в работе М. Лакиша и С. Гата [3] испытатели определили, что дискомфортная блёсткая яркость БИ в поле зрения составляет 1030–3570 кд/м^2.

Резюмируя всё вышеизложенное, можно прийти к выводу, что модели ДБ для БИ с неравномерным распределением яркости в поле зрения наблюдателя на данный момент не существует, а применяя существующие формулы и методы нельзя гарантировать результат, соответствующий действительности.

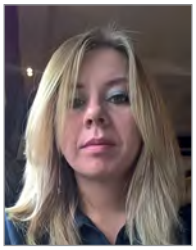
Но формула для определения вероятности зрительного комфорта, рекомендованная *IESNA* (3), внешне напоминает нормальное распределение (1), что подтверждает физический смысл причин явления ДБ согласно Ньюшаму. Поэтому предполагаем, что модель ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости будет не набором мультифункций, а должна подчиняться закону нормального распределения. Кроме того, опираясь на понятие вуалирующей пелены, можно определить границу комфортная блёскость–ДБ как состояние наблюдателя, когда глаз ещё не адаптировался к высокой яркости, и яркость БИ в поле зрения мешает выполнению какой-либо зрительной задачи.

Ощущение ДБ аналитически неопределимо. Так, до сих пор нет достоверных данных о причине возникновения этого явления, и потому для моделирования ДБ от БИ неопределённой формы с неравномерным распределением яркости необходим соответствующий эксперимент. В его основе целесообразно использовать методику М. Лакиша и С. Гата [4], так как, согласно полученным результатам, модель *VCP* наиболее соответствует физической причине явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Veitch J.A., Newsham G.R.* Determinants of lighting quality I: State of the Science // Illum. Eng. Soc. – 1998. – Vol. 27, No. 1. – P. 92–106.
2. The IESNA Lighting Handbook: Reference and Application, Ninth Edition / Ed. Rea, Mark S. – New York: IESNA, 2000.
3. *Luckiesh M., Holladay L.L.* Glare and Visibility // Transactions of the IES, 1925. V.20. P. 221.
4. *Luckiesh M., Guth S.K.* Brightness in the visual field at borderline between comfort and discomfort // Illuminating Engineering, 1949. V.44, No. 11. P. 650.
5. *DeBoer J.B.* Straßen Leuchtdichte und Blendungs Freiheit // Lichttechnik. – 1958. – P. 359.
6. *Einhorn H.D.* Discomfort glare: a formula to bridge differences // Lighting Research and Technology. – 1979. – Vol. 11, No. 2. – P. 90.
7. *Poulton K.* Discomfort Glare / Proc. CIE, 19th Sess., Kyoto, Japan, 1979.
8. *Pai T.R., Gulati V.C.* Unified Glare Rating System: Practical Approach for Evaluating Discomfort Glare / Proc. CIE, 23rd Sess., New Delhi, India, 1995.
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
10. *Мешков В.В., Епанешников М.М.* Осветительные установки. – М.: Энергия, 1972.
11. *Луизов А.В.* Глаз и свет. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.
12. *Clear R.D.* Discomfort glare: what do we actually know? // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45. – P. 141–158.

Будак Владимир Павлович, *доктор техн. наук. Окончил в 1981 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»»*



Мешкова Татьяна Валерьевна, *инженер. Окончила в 2010 г. МЭИ (ТУ). Руководитель отдела управления проектами ЗАО «НТС». Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Проект по определению фотометрических характеристик осветительных приборов на основе спектрорадиометрических измерений в Испытательном центре «ВНИСИ»*

А.А. БАРЦЕВ, Р.И. БЕЛЯЕВ, Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ

ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова», Москва
E-mail: bartsev@vnisi.ru

Аннотация

Предложено метрологическое обеспечение спектрорадиометрического подхода к измерениям световых и цветовых характеристик осветительных приборов (ОП), основанное на сравнении спектрального распределения потока излучения исследуемого ОП, помещённого в интегрирующую сферу, со спектральным распределением облучённости от эталонной измерительной лампы, рассматриваемой в качестве внешнего по отношению к этой сфере источника излучения.

Ключевые слова: эталонная измерительная лампа, спектральное распределение потока излучения, спектральная плотность облучённости, коэффициент спектральной коррекции, интегрирующая сфера, гониофотометр, фотометрическое тело

1. Введение

В последнее время в фотометрических и колориметрических измерениях в испытательных лабораториях и центрах тестирования получили широкое распространение мини-спектрометры на основе ПЗС-матриц. В первую очередь это связано со спектральными характеристиками современных ОП и источников света для них. Например, спектры ОП со светодиодами (СД) существенно отличаются от спектра источника типа «*A*», который является основным для калибровки интегральных средств измерения световых и цветовых характеристик ОП, таких как фотометры и фотометрические головки, люксметры и колориметры. При применении интегральных средств измерения для получения характеристик современных ОП с СД необходимо определять коэффициент коррекции (коэффициент исправления) [1, 2] для каждой *V(λ)*-головки и каждого канала колориметра, а это сложная процедура, особенно в условиях испытательных лабораторий с большим объёмом тестов и разнообразием спектров излучения измеряемых ОП.

В международной практике при разработке стандартов [3] и измерительных приборов всё более популярным становится спектрорадиометрический подход. В Азии, Европе и США выпускаются гониофотометры и интегрирующие сферы, оборудованные мини-спектрометрами на основе ПЗС-матриц.

Однако есть определённые проблемы использования подобных мини-спектрометров [4], которые, в основном, связаны с рассеянным светом, точностью установки длины волны и калибровкой средства измерения, т.е. с методом и способом измерения спектрального распределения характеристики излучения ОП [5].

Ещё одна проблема применения мини-спектрометров связана с практическим отсутствием на мировом рынке стандартных измерительных ламп, которые можно использовать в качестве эталонов для измерений спектрального распределения яркости, облучённости и потока излучения.

В России стандартные измерительные лампы типа СИС 40–100, выпускавшиеся долгие годы опытным производством ВНИИС им. А.Н. Лодыгина, можно использовать в качестве эталонного переносимого источника спектрального распределения облучённости [6], а первичный эталон спектрального распределения потока излучения не реализован в нашей стране до сих пор.

Когда ставится задача тестирования ОП с целью определения их световых и цветовых параметров и сравнения полученных результатов с требованиями действующих современных стандартов и технических регламентов, необходимо учитывать, что эти параметры должны определяться по спектральному распределению потока излучения ОП. Для ОП с СД (и многих других) спектральные распределения энергетической яркости, силы излучения и облучённости зависят от угла наблюдения. Именно поэтому рекомендуется определять интегральные световые и цветовые характеристики расчётами по измеренному спектральному распределению потока излучения в интегрирующей сфере, оснащённой мини-спектрометром, калиброванным в составе этой сферы, или путём измерений пространственного распределения спектральной плотности потока ОП гониометром, оснащённым мини-спектрометром [3].

2. Методология калибровки интегрирующей сферы внешним эталонным источником

2.1. Измерительная система

Предлагается метод калибровки спектрорадиометрической системы для измерения параметров ОП (рис. 1), которая состоит из большой сферы (диаметром не менее 1,5 м), блока апертурных диафрагм у входа сферы *1* и мини-спектрометра с ПЗС-матрицей на выходе сферы *2*. Методика основана на сравнении спектральной плотности облучённости входной апертуры сферы или, что то же, спектральной плотности потока излучения эталонной лампы *3*, прошедшего через входную апертуру сферы, со спектральной плотностью потока ОП *4* внутри сферы. Установка должна быть оборудована вспомогательной лампой *5* и дополнительными экранами в сфере *6* и перед эталонной лампой *7*.

2.2. Внешний эталонный источник

Идея внешнего источника для реализации первичного эталона воспроизведения единицы светового потока, люмена, первоначально была предложена в *NIST* (США) и затем использовалась в Международном проекте по

* По материалам доклада на Международной конференции МКО «*Lighting Quality & Energy Efficiency*», 3–5 марта 2016 г., Мельбурн, Австралия

реализации люмена в ГУП «ВНИИОФИ» (Россия) на основе высокотемпературного абсолютно чёрного тела – внешнего источника по отношению к интегрирующей сфере [7]. В настоящем проекте для измерения спектрального распределения потока излучения ОП с СД, помещаемого внутрь сферы, предлагается использовать эталонную измерительную лампу спектральной плотности облучённости в качестве внешнего источника для калибровки всего комплекса на основе сферы и спектрорадиометра. При этом поток излучения эталонной лампы спектральной плотности облучённости, прошедший в сферу через апертуру площадью А, имеет спектральное распределение

$$\varphi_e(\lambda) = E_e(\lambda) \cdot A,$$

где $E_e(\lambda)$– спектральное распределение облучённости от эталонной лампы *3* в плоскости апертурной диафрагмы *1*. Спектральная плотность суммарного потока $\phi_i(\lambda)$ ОП с СД, определяемая методом сравнения со спектральным распределением парциального потока эталонной лампы $\phi_e(\lambda)$, равна:

$$\varphi_i(\lambda) = c_g(\lambda)\, c_f(\lambda) \varphi_e(\lambda)\, y_i(\lambda) / \; y_e(\lambda),$$

где $y_i(\lambda)$ и $y_e(\lambda)$ – реакции мини-спектрометра на освещение сферы внутренним и внешним источниками излучения; $c_g(\lambda)$ – поправочный множитель, который связан с размером и геометрией расположения измеряемого ОП в сфере; $c_f(\lambda)$ – поправочный множитель, обусловленный неравномерностью покрытия сферы и различной геометрией освещения на этих двух этапах измерения – с внешним и внутренним источниками излучения.

$c_f(\lambda)$ можно определить, используя эталонную измерительную лампу светового потока при цветовой температуре, например, 2800 К в двух геометриях измерений: как внешний и как внутренний источник излучения. В этом случае

$$c_f(\lambda) = x_e^{\,i}(\lambda) / x_e^{\,e}(\lambda), \qquad (1)$$

где $x_e^{\,i}(\lambda)$ – реакция мини-спектрометра, когда измерительная лампа находится внутри сферы (точечный источник в центре сферы), $x_e^{\,e}(\lambda)$– реакция мини-спектрометра в случае, когда эта же лампа используется как внешний источник излучения. Этот поправочный множитель должен определяться на каждой λ спектрального диапазона измерений и для каждого варианта расположения испытуемого ОП внутри сферы. Если геометрия и покрытие сферы близки к «идеальному», то отношение (1) – относительных спектральных распределений $x_e^i(\lambda)$ и $x_e^e(\lambda)$ – стремится к 1 на каждой λ. При этом, например, максимальное отличие $c_f(\lambda)$ от 1 можно рассматривать как систематическую составляющую суммарной погрешности предлагаемого метода. В то же время, в рутинных измерениях, когда сфера далека от идеально однородной, в результаты измерений необходимо вносить поправки.

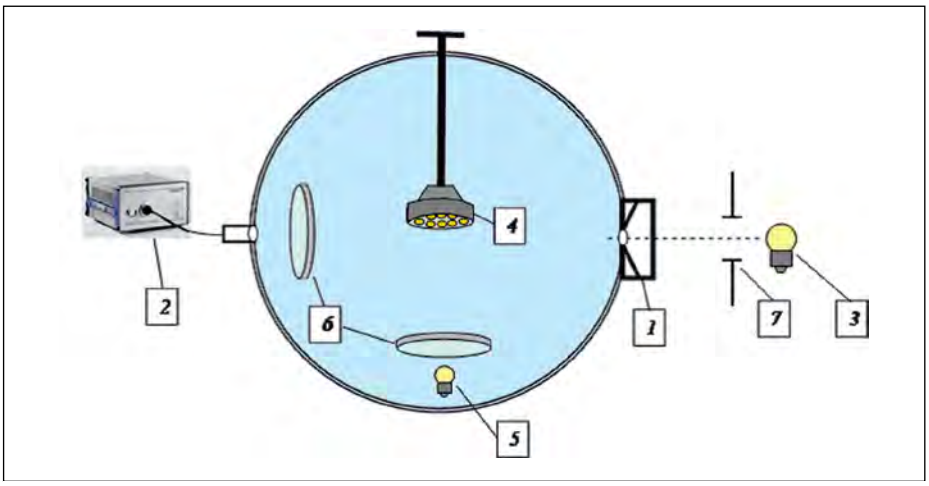


Рис. 1. Схема спектрорадиометрической измерительной установки на основе интегрирующей сферы

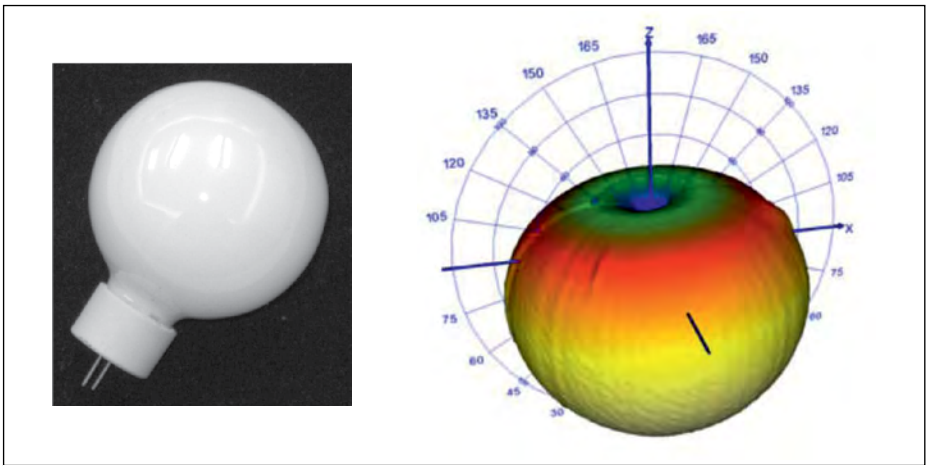


Рис. 2. Примеры матированной лампы накаливания, используемой в качестве перевозимого эталона потока излучения, и её 4π-фотометрического тела

Использование вспомогательной лампы *5* (рис.1) позволяет определять поправочный множитель $c_g(\lambda)$:

$$C_g(\lambda) = u_{au}(\lambda) / u^{iof}{}_{au}(\lambda),$$

где $u_{au}(\lambda)$ – реакция мини-спектрометра на освещение сферы вспомогательной лампой при отсутствии ОП в сфере; $u^{iof}{}_{au}(\lambda)$ – реакция мини-спектрометра на освещение сферы вспомогательной лампой при установке ОП в рабочей позиции *4* (рис.1) внутри сферы, но не в режиме работы (т.е. когда ОП выключен).

2.3. Внутренний эталонный источник спектральной плотности потока излучения

Чтобы реализовать эталонный источник спектральной плотности потока излучения, необходимо иметь измерительную лампу с фотометрическим телом, близким к идеально равномерному в телесном угле 4π, или, по крайней мере, 2π (рис. 2), и гониофотометр, желательно, оснащён-

ный мини-спектрометром. Можно использовать отожжённые и отобранные галогенные лампы накаливания или СД-лампы, также предварительно отожжённые и проверенные на стабильность световых и цветовых параметров. Если гониофотометр не оснащён мини-спектрометром, необходимо измерять фотометрическое тело (по яркости, силе света или освещённости) и абсолютизировать его по спектральной плотности потока излучения. Для этого необходимо измерить спектральную характеристику ОП (энергетическую яркость, силу излучения или облучённость) в определённом направлении на оптическом стенде. При этом в ИЦ «ВНИСИ» калибровка мини-спектрометра по спектральной плотности энергетической освещённости выполняется на том же самом оптическом стенде с помощью измерительной эталонной лампы СИС 40–100, поверенной в ФГУП «ВНИИОФИ».

Если гониофотометр оснащён мини-спектрометром, то задача сводится к измерению пространственного распределения спектральной плотности, например, облучённости. Далее как в первом, так и во втором случаях выполняется интегрирование в определённом телесном угле для определения спектрального распределения потока излучения $\varphi_e(\lambda)$:

$$\varphi_e(\lambda) = L^2 \int_{\gamma=0}^{2\pi} \int_{C=0}^{\pi} E_e(\lambda) \sin C d\lambda d\gamma dC,$$

где L – расстояние измерения $E_e(\lambda)$ на оптическом стенде, γ – угол в вертикальной плоскости, C – угол в горизонтальной плоскости.

После выполнения расчёта по формуле (2) для всех λ излучения эталонного источника, система интегрирующая сфера–мини-спектрометр становится оснащённой эталонным источником сравнения для измерений спектральных характеристик ОП, а следовательно, для измерений световых и цветовых параметров ОП в режиме измерения спектрального распределения потока излучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Joint ISO/CIE International Standard ISO/CIE19476:2014(E) (former CIE S023/E: 2013)»Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters».

2. CIE179:2007, Technical Report «Methods for Characterising Tristimulus Colorimeters for Measuring the Colour of Light».

3. CIE International Standard S025/E:2015 «Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules».

4. CIE214:2014 «Effect of Instrumental Bandpass Function and Measurement Interval on Spectral Quantities».

5. *Stolyarevskaya, R.I.*, *Bartsev, A.A.*, *Belyaev*, *R.I.* «Methodology of Luminaire BLH Radiance Measurements» / Proc. CIE2012 «Lighting Quality and Energy Efficiency», 19–21 September 2012, Hangzhou, China. – pp. 215–222.

6. *Bartsev A.A., Stolyarevskaya R.I., Belyaev R.I.* Features of the Testing Program for LED-Luminaires at VNISI Testing Centre // Light & Engineering. – 2013. – Vol. 20, No. 4. – P. 44–49; Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И. Особенности программы испытаний осветительных приборов со светодиодами в ООО «ВНИСИ» // Светотехника.– 2013.– № 4. – С. 27–29

7. *Ivanov V.S., Sapritsky V.I., Ogarev S.A., Parfentyev N.A., Samoylov M.L., Khlevnoy B.B., Goodman T.M., Khromchenko V.B., Ohno Y., Sauter G., Stolayrevskaya R.I.* International project to realize the lumen // Light & Engineering.– 2002. – Vol. 10, No. 3. – P. 9–21; Иванов В.С., Саприцкий В.И., Огарёв С.А., Парфентьев Н.А., Самойлов М.Л., Гудман Т.М., Хлевной Б.Б., Оно И., *Хромченко В.Б., Заутер Г., Столяревская Р.И.* Международный проект по воспроизведению люмена // Светотехника.– 2002.– № 5. – С. 3–10.

Алексей Анатольевич Барцев, *кандидат техн. наук. Окончил в 1986 г. МЭИ. Руководитель Испытательного центра ООО «ВНИСИ»*

Роман Иванович Беляев, *инженер. Окончил в 2006 г. МЭИ. Главный метролог Испытательного центра ООО «ВНИСИ». Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 6 МКО*

Раиса Иосифовна Столяревская, *доктор техн. наук. Окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета. Научный редактор ООО «Редакция журнала «Светотехника», старший менеджер ООО «ВНИСИ». Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО*

Модернизация уличного освещения в Лиссабоне

Испанское представительство холдинга БЛ ГРУПП реализовало перспективный проект по модернизации уличного освещения столицы Португалии – города Лиссабона. С помощью модулей «Ретрофит», произведённых на площадке в Испании, были модернизированы светильники на одной из исторических улиц.

Теперь 110 энергоэффективных светильников со светодиодами обеспечивают более 40% экономии электроэнергии на освещении. И самое важное – сохраняют облик улицы в первозданном виде. Поскольку корпус светильников

ни в коем случае нельзя было менять, то специалистами было предложено решение, позволяющее соединить последние достижения светотехнической отрасли с минимальными «потерями» для исторического дизайна.

«Высокоэкономичное решение для Лиссабона легко можно будет „тиражировать“ и применить во многих европейских городах», – отметил Пётр Шашин, руководитель департамента логистики и развития производства, управляющий проектом с российской стороны.

Сравнение результатов компьютерного моделирования эвакуационного освещения[1]

А. ПАВЛАК

Национальный исследовательский институт «Центральный институт охраны труда», Варшава, Польша
E-mail: anpaw@ciop.pl

Аннотация

Задачей данного исследования было определение точности моделирования эвакуационного освещения посредством наиболее популярных программ для расчёта и проектирования освещения *«DIALUX»* и *«RELUX»*. Для выполнения этой задачи были выбраны пять светильников эвуакуационного освещения со светодиодами (СД), имеющих разные светораспределения и световые потоки. Расчёты проводились для коридора с размерами 22 × 2 × 2,8 м с использованием сетки, обеспечивающей наибольшую возможную точность, причём учитывался только прямой свет светильников. Требования к освещению определялись требованиями стандарта *EN1838: 2013* для путей эвакуации шириной 2 м. По результатам компьютерного моделирования и измерений сделан вывод, что, несмотря на ряд недостатков, обе эти программы, используемые при проектировании эвакуационного освещения, подходят для расчёта параметров эвакуационного освещения.

Ключевые слова: освещение путей эвакуации, программы для расчёта и проектирования освещения, *«DIALUX»* и *«RELUX»*, светильник эвакуационного освещения, *EN1838: 2013*.

1. Введение

В случае внезапного и продолжительного выключения основного освещения нельзя безопасно покинуть здание, особенно при наличии в нём большого числа людей, а текущую деятельность невозможно завершить с соблюдением требований техники безопасности. Все пути эвакуации должны быть видны и чётко обозначены. Для их указания используются знаки безопасности, которые могут освещаться изнутри или снаружи. Освещаемые снаружи знаки изготавливаются из фотолюминесцентных материалов и нуждаются в подходящем освещении. Как показали проведённые исследования [2], для обеспечения требуемой яркости знаков очень многое значат химический состав материала, из которого изготовлен знак, время экспонирования и освещённость на поверхности знака перед отключением общего освещения, а также спектр возбуждающего излучения. Для освещения путей эвакуации используются соответствующие светильники. Они позволяют людям безопасно покидать помещение, в связи с чем их называют светильниками эвакуационного освещения. Для надёжной работы эвакуационного освещения используются дополнительные источники питания, подающие энергию в некоторые светильники общего освещения или в специальные светильники, установленные именно с этой целью. Согласно действующим в Польше требованиям, автоматически включающееся эвакуационное освещение должно устанавливаться на всех объектах, на которых отключение электропитания может представлять опасность для жизни и здоровья людей, угрожать окружающей среде и приводить к значительному повреждению собственности. Так что эвакуационное освещение напрямую связано с безопасностью людей, и поэтому его технические характеристики (светотехнические и электрические) и, что особенно важно, эффективность его работы строго оговорены в стандартах. Последние устанавливают минимальные требования, которым должны удовлетворять системы эвакуационного освещения [3]. К сожалению, во многих зданиях ещё существуют плохие подобные системы,

Рис. 1. Вид светильника компании *Zumtobel* [7]

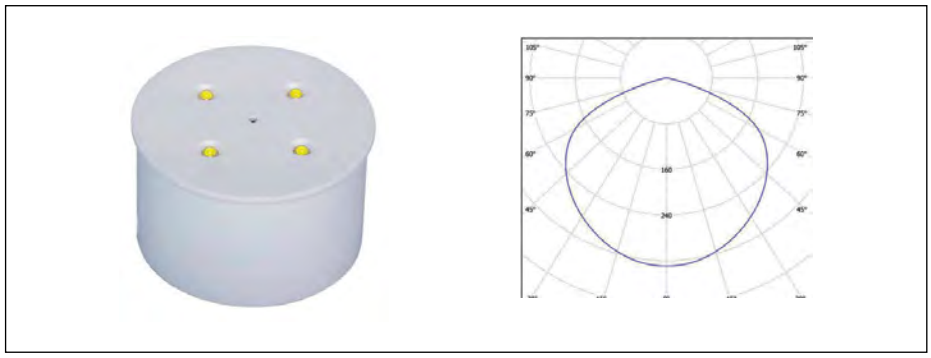


Рис. 2. Вид светильника «*Discret N*» компании *Amatech* и его кривая силы света[5]

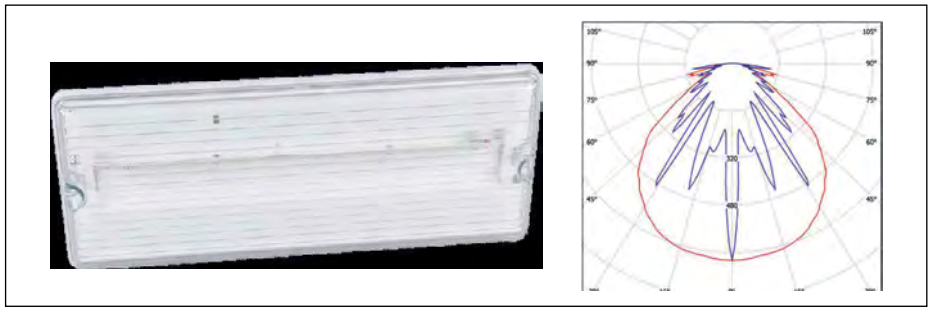


Рис. 3. Вид светильника «*Alfa III*» компании *Amatech* и его кривая силы света[5]

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 4. Изображение светильника «*Herkules* компании *Hybryd* и его кривая силы света [6]

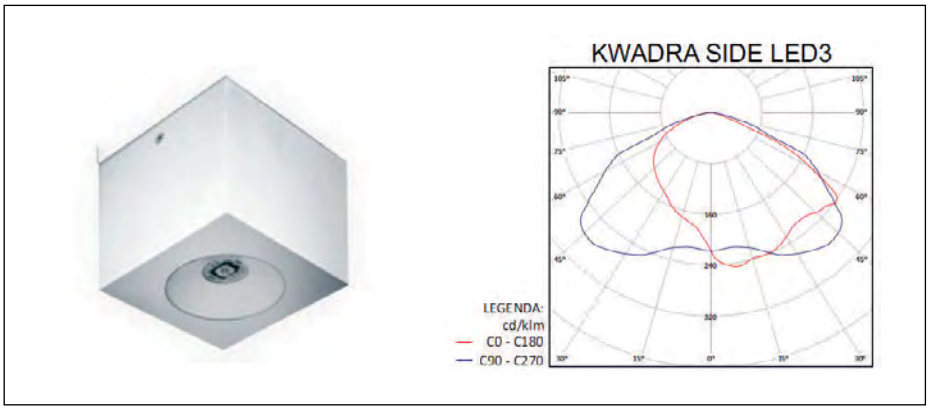


Рис. 5. Изображение светильника «*Kwadra Side* «компании *Hybryd* и его кривая силы света [6]

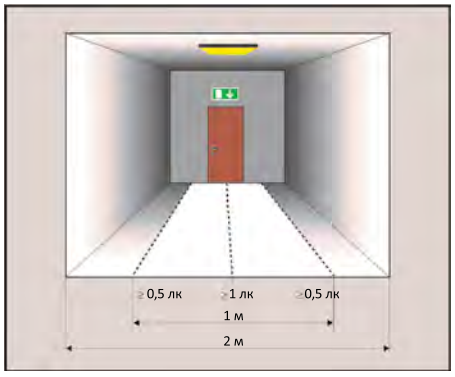


Рис. 6. Нормированный путь эвакуации [1]

например, из-за неправильной реализации проекта, плохого качества монтажных работ или отсутствия технического обслуживания.

2. Объект исследования

2.1. Светильники эвакуационного освещения

Для проведения исследований были выбраны пять светильников эвакуационного освещения, питающихся как от сети, так и от аварийных источников питания. Эти светильники удовлетворяют требованиям стандарта *PN-EN1838:2013* (далее – стандарта), согласно которым освещённость на пути эвакуации должна достигнуть 0,25 и 0,5 лк через 5 с и 0,5 и 1 лк через 60 с. Эти требования легче всего удовлетворить с помощью светильников с СД.

К светильникам первого типа относились светильники *Oriled 2/1W LED760* компании *Zumtobel* (рис. 1), уже установленные на стенах коридора. Они содержат по 2 СД мощностью 1 Вт. Остальные светильники были выбраны из продукции четырёх основных польских производителей светильников эвакуационного освещения – компаний *Amabud-Amatech*, *Hybryd*, *Awex* и *TM Technology*. Выбор светильников осуществлялся с учётом светораспределения, светового потока, количества и мощности СД. По результатам анализа технических характеристик были выбраны светильники двух из четырёх перечисленных производителей, а именно:

- *DISCRET N, 4 x 1 LED, AT, DW1/4/4/AS/1H/* компании *Amatech* (рис. 2).
- *ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H* компании *Amatech* (рис. 3).
- *HERKULES-P ROAD AT 1J LED5* компании *Hybryd* (рис. 4).
- *KWADRA SIDE N AT 1J LED3* компании *Hybryd* (рис. 5).

Все эти светильники предназначены для работы в аварийном режиме в течение 1ч.

2.2. Исследовавшееся помещение

Для проведения исследований был выбран коридор с размерами 22 × 2 × × 2,8 м. На одной из его стен на высоте 0,58 м от пола были установлены с интервалом в 4,4 м светильники компании *Zumtobel* (расстояние крайних светильников от более коротких стен – 2,2 м). Остальные светильники устанавливались на стене на таких высоте и расстояниях, которые удовлетворяли требованиям стандартов.

3. Требования к освещению

Что касается освещения, то согласно требованиям стандарта, освещённость на полосе эвакуации шириной до 2 м должна быть не ниже 1 лк в любой точке её центральной линии, а освещённость на центральной полосе, занимающей по меньшей мере полширины пути эвакуации, должна составлять не менее 0,5 лк (рис. 6).

4. Проектирование эвакуационного освещения

Для проектирования эвакуационного освещения были выбраны две наиболее популярные в Польше коммерческие программы: *«DIALUX»* и *«RELUX»*. В обеих программах: расчёты производились с использованием сетки, обеспечивающей наибольшую возможную точность и состоящую из 4096 точек (128 × × 32); был выбран вариант, учитывающий только прямую составляющую и не учитывающий вклад отражённого света в обеспечение эвакуационного освещения. Более того, коэффициенты отражения стен, потолка и пола считались нулевыми, а коэффициент эксплуатации был выбран равным 0,77 (значение, предложенное обеими программами).

Проекты эвакуационного освещения разрабатывались для коридора

с размерами 22 × 2 × 2,8 м. Так что в обеих программах расчёты освещённости производились применительно к центральной полосе пути эвакуации размером 22 × 1 м и к её центральной линии длиной 22 м.

Из-за отсутствия существенных различий в расположении светильников в разных проектах, на рис. 7 в качестве примера приведено расположение светильников *Alfa III* компании *Amatech* при проведении расчётов в программе *«DIALUX»*, а на рис. 8 – в программе *«RELUX»*.

5. Результаты проектирования эвакуационного освещения

На рис. 9–18 приведены проектные расчётные распределения освещённости, а в табл. 1 – минимальные и максимальные расчётные значения освещённости, полученные для центральной линии и центральной полосы пути эвакуации. Кроме того, в табл. 1 для обоих объектов приведены отношения максимальной освещённости к минимальной.

6. Оценка точности компьютерного моделирования

6.1. Влияние коэффициентов отражения

Для проверки влияния на полученные результаты допущения о нулевых коэффициентах отражения всех поверхностей помещения, в обеих программах был задействован вариант расчётов с учётом отражённой составляющей. Вначале были использованы выбранные значения коэффициентов отражения стен, потолка и пола[2], а затем они были заданы как 50, 70 и 20% соответственно. В результате проведённого по обеим программам моделирования установок с пятью исследовавшимися светильниками эвакуационного освещения было установлено, что различия по минимальной и максимальной освещённости на центральной линии и центральной полосе пути эвакуации в обоих случаях не достигали и сотых долей люкса, совпадая с приведёнными в табл. 1. Поэтому можно утверждать, что выбор варианта, в котором при расчёте эвакуационного освещения учитывается только прямая составляющая, «автоматически» восстанавливает значения коэффициентов отражения.

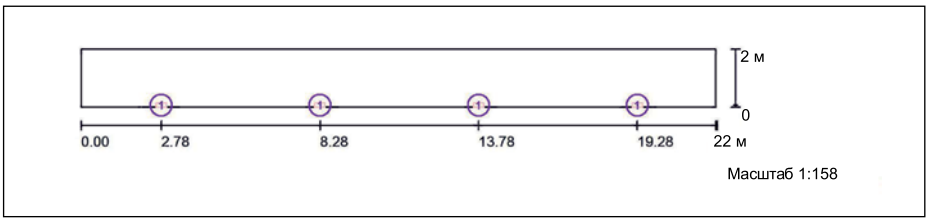


Рис. 7. Схема расположения светильников компании *Amatech* в *«DIALUX»*

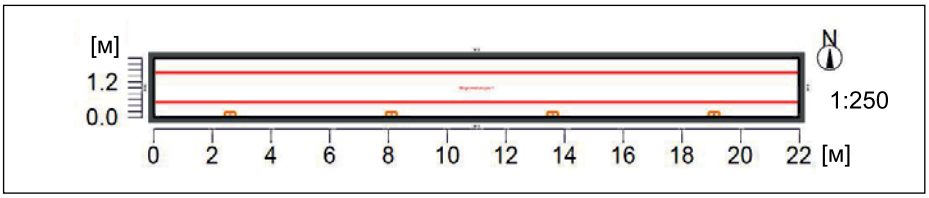


Рис. 8. Схема расположения светильников компании *Amatech* в *«RELUX»*

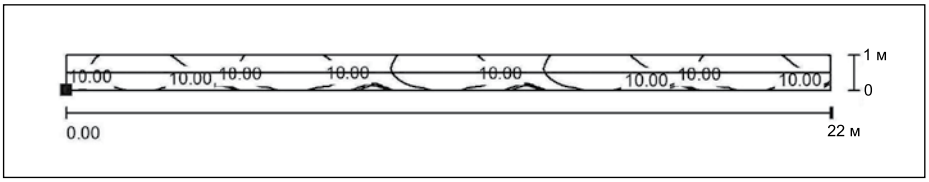


Рис. 9. Полученное в *«DIALUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками компании *Zumtobel*

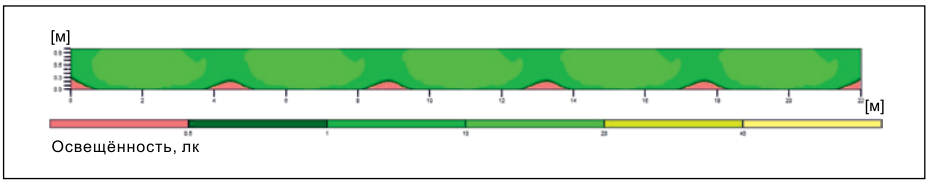


Рис. 10. Полученное в *«RELUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками компании *Zumtobel*

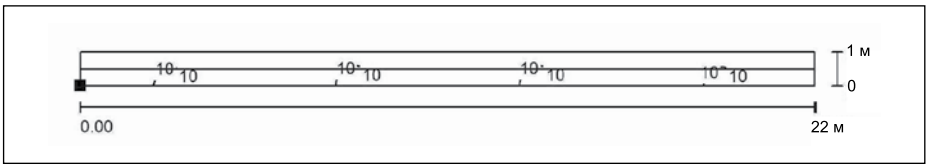


Рис. 11. Полученное в *«DIALUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *«Discret N»* компании *Amatech*

6.2. Влияние количества точек расчётной сетки

Было также исследовано влияние количества точек расчётной сетки на результаты расчётов. В случае программы *«RELUX»*, изменение количества точек, например, с 128 × 32 на 43 × 3, никак не сказалось на результатах расчётов. В случае же *«DIALUX»* при таком же изменении количества точек значения освещённости на центральной линии пути эвакуации оставались неизменными, а для центральной полосы были получены другие значения освещённости (табл. 2).

6.3. Выводы о точности компьютерного моделирования

Уменьшение числа точек сетки, использовавшейся в программе *«DIALUX»* привело к:

– уменьшению расчётной максимальной освещённости на центральной полосе пути эвакуации;

[2] Эти «выбранные» значения коэффициентов отражения в оригинале статьи не приведены. По-видимому, имеются в виду значения, задаваемые программами «по умолчанию». – Прим. пер.

Таблица 1

Значения освещённости, полученные в результате компьютерного моделирования эвакуационного освещения*

Типы и производители светильников	Программа, по которой проектировалось освещение	Центральная линия пути эвакуации			Центральная полоса пути эвакуации		
		$E_{макс}$, лк	$E_{мин}$, лк	$E_{макс}/E_{мин}$	$E_{макс}$, лк	$E_{мин}$, лк	$E_{макс}/E_{мин}$
ORILED2/1W LED760 ZUMTOBEL	*«DIALUX»*	14,0	2,94	4,76	19,0	**0,13**	**146**
	«RELUX»	14,6	1,5	9,73	19,8	**0,0**	—-
DISCRET N, 4 x 1 LED, AT AMATECH	*«DIALUX»*	10,78	1,94	5,56	12,0	1,85	6,49
	«RELUX»	10,5	1,5	7,0	11,7	1,4	8,36
ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H AMATECH	*«DIALUX»*	6,0	1,32	4,55	16,0	1,04	15,38
	«RELUX»	5,8	**0,8**	7,25	16,7	0,7	23,86
HERKULES-P ROAD AT LED5 HYBRYD	*«DIALUX»*	28,0	2,8	10	30,0	2,48	12,1
	«RELUX»	20,8	**0,5**	**41,6**	21,2	**0,4**	**53**
KWADRA SIDE N AT 1J LED3 HYBRYD	*«DIALUX»*	10,5	1,89	5,56	13,0	1,48	8,78
	«RELUX»	11,1	**0,6**	18,5	12,8	**0,3**	**42,67**

* Значения, выделенные красным жирным шрифтом, не удовлетворяют требованиям стандарта

– увеличению расчётной минимальной освещённости на центральной полосе пути эвакуации.

После изменения расчётной сетки все светильники, кроме светильника *Oriled 2/1W LED760* компании *Zumtobel*, обеспечивали соответствие требованиям стандарта.

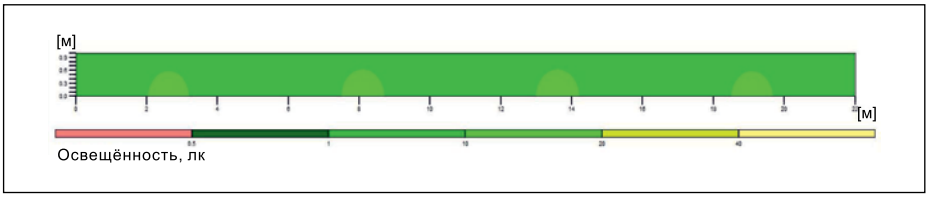


Рис. 12. Полученное в *«RELUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *«Discret N»* компании *Amatech*

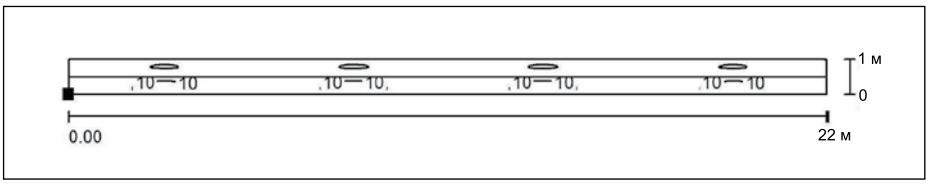


Рис. 13. Полученное в *«DIALUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *«Alfa III»* компании *Amatech*

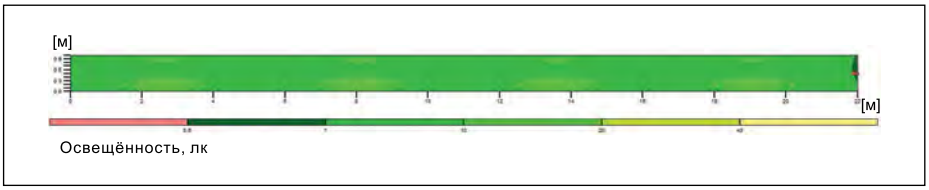


Рис. 14. Полученное в *«RELUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *«Alfa III»* компании *Amatech*

7. Выводы

Из приведённых результатов следует, что проекты эвакуационного освещения на светильниках компании *Zumtobel*, выполненные с помощью обеих рассматривавшихся программ, не удовлетворяют требованиям стандарта по минимальной освещённости на центральной линии пути эвакуации. Конечно, эти проекты можно было выполнить правильно, но, как упоминалось в начале, высота установки и расположение светильников привязаны к существующей установке эвакуационного освещения.

В случае светильников *«Discret N»* компании *Amatech* проекты эвакуационного освещения, выполненные посредством обеих рассматривавшихся программ, удовлетворяют всем требованиям стандарта.

Для светильников *«Alfa III»* компании *Amatech* и светильниках *«Herkules-P Road»* и *«Kwadra Side»* компании *Hybryd* полученные результаты были одинаковы: при проектировании с помощью *«DIALUX»* были удовлетворены все требования стандарта, а при проектировании с помощью *«RELUX»* эти требования удовлетворены не были. Эти отклонения от требований стандарта нельзя считать существенными, так как они легко исправимы, например, путём изменения расстояния между светильниками. Однако целью моделирования было, в первую очередь, сравнение результатов, полученных при использовании двух рассматривавшихся программ. Поэтому в обеих программах использовались одни и те же входные параметры, в том числе высота установки и расположение светильников.

Сравнительный анализ расчётных значений освещённости, полученных с программами *«DIALUX»* и *«RELUX»* для одного и того же освещаемого

Таблица 2

Значения освещённости, полученные в результате компьютерного моделирования эвакуационного освещения в программе *«DIALUX»* при двух размерах расчётной сетки*

Типы и производители светильников	Количество точек, в которых выполнялись расчёты в программе *«DIALUX»*	Центральная линия пути эвакуации			Центральная полоса пути эвакуации		
		$E_{макс}$, лк	$E_{мин}$, лк	$E_{макс}/E_{мин}$	$E_{макс}$, лк	$E_{мин}$, лк	$E_{макс}/E_{мин}$
ORILED2/1W LED760 ZUMTOBEL	128 × 32	14,0	2,94	4,76	19,0	**0,13**	**146**
	43 × 3	14,0	2,94	4,76	15,0	**0,44**	34,1
DISCRET N, 4 x 1 LED, AT AMATECH	128 × 32	10,78	1,94	5,56	12,0	1,85	6,49
	43 × 3	10,78	1,94	5,56	11,0	2,02	5,45
ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/ 1H AMATECH	128 × 32	6,0	1,32	4,55	16,0	1,04	15,38
	43 × 3	6,0	1,32	4,55	14,0	1,48	9,46
HERKULES-P ROAD AT LED5 HYBRYD	128 × 32	28,0	2,8	10	30,0	2,48	12,1
	43 × 3	28,0	2,8	10	29,0	2,9	10
KWADRA SIDE N AT 1J LED3 HYBRYD	128 × 32	10,5	1,89	5,56	13,0	1,48	8,78
	43 × 3	10,5	1,89	5,56	12,0	1,74	6,9

* Значения, выделенные красным жирным шрифтом, не удовлетворяют требованиям стандарта

участка, позволил сделать следующие выводы:

– если не учитывать светильники «*Oriled*» компании *Zumtobel*, то предъявляемым требованиям не удовлетворяют пять значений освещённости, полученных в *«RELUX»* (для трёх из четырёх исследованных светильников);

– как правило, во всех рассмотренных случаях неудовлетворение требований стандарта в части освещённости заключается в неудовлетворении требования к отношению максимального значения освещённости к минимальному;

– в большинстве случаев (16 из 20) значения освещённости, полученные в *«DIALUX»*, оказались больше полученных в *«RELUX»*;

– в 14 случаях из 20 различия по освещённости были незначительны (не более 2 лк), а максимальное различие (7,2 и 8,8 лк) наблюдалось только в случае светильника «*Herkules-P Road*» компании *Hybryd* .

Что касается использования программ *«DIALUX»* и *«RELUX»*, то здесь можно сказать, что:

– в *«DIALUX»* модуль эвакуационного освещения более интуитивно-понятен и удобен, чем в *«RELUX»*;

– при проведении расчётов использовались разные значения параметров, которые были взяты из баз данных соответствующих программ, например, световые потоки или свето-

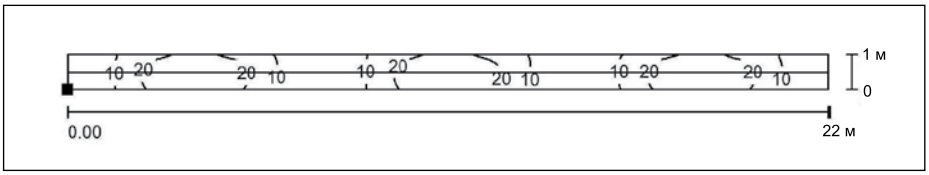


Рис. 15. Полученное в *«DIALUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками «*Kwadra Side*» компании *Hybryd*

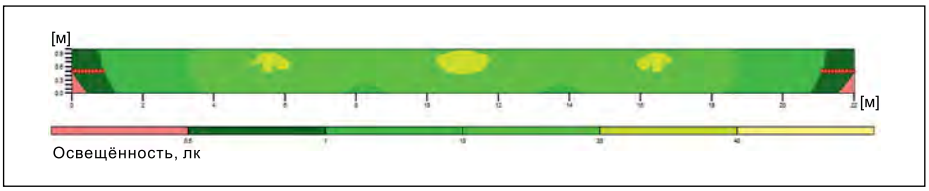


Рис. 16. Полученное в *«RELUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками «*Kwadra Side*» компании *Hybryd*

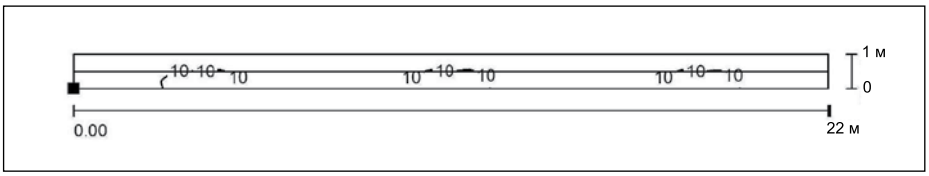


Рис. 17. Полученное в *«DIALUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *Kwadra Side*» компании *Hybryd*

товые отдачи; кроме того, в *«RELUX»* приводятся размеры светильников, а в *«DIALUX»* чётче заданы кривые силы света;

– чертёж помещения с нанесёнными на него контурными линиями, посредством которых демонстрируются результаты расчётов в *«RELUX»*, читается лучше, чем аналогичный чертёж в *«DIALUX»*;

– в двух случаях один из результатов, полученных с помощью *«RELUX»*, приводится с точностью до одной значащей цифры, что влияет на расчётное отношение максимального значения освещённости к минимальному;

– нормативные требования приводятся только в *«RELUX»*, причём требования к минимальной освещён-

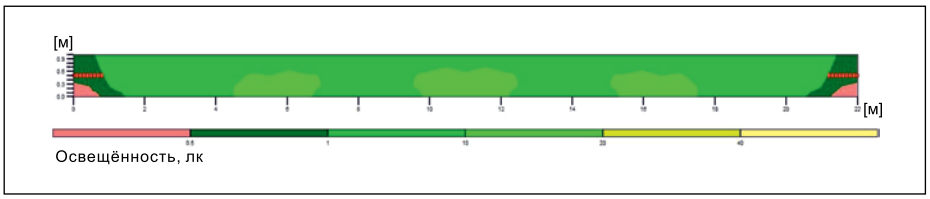


Рис. 18. Полученное в *«RELUX»* распределение освещённости, создаваемой светильниками *«Kwadra Side»* компании *Hybryd*

ности приведены некорректно (относятся к центральной линии);

– результаты расчётов в *«DIALUX»* не содержат значения минимальной освещённости на центральной линии – её приходится рассчитывать дополнительно.

8. Заключение

Обе программы, обеспечивающие возможность проектирования эвакуационного освещения, имеют как недостатки, так и достоинства, что не позволяет однозначно предпочесть одну из них. Проекты, выполненные с помощью *«RELUX»*, можно считать более строгими и «безопасными» только из-за того, что эта программа даёт более низкие значения освещённости. Однако на данном этапе неясно, насколько эти расчётные значения освещённости соответствуют реальным.

Эта статья написана по результатам исследований в рамках второго этапа национальной программы «Улучшение безопасности и условий труда», финансировавшейся в 2014–2016 гг. Министерством труда и социальной политики. Координатором этой программы являлся Национальный исследовательский институт «Центральный институт охраны труда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pawlak, A.* Poradnik Technika Świetlna'09, Tom 2, Oświetlenie awaryjne. PKOś SEP, Warszawa 2013. – P. 141–156.

2. *Wandachowicz, K., Zalesinska, M.* Analysis of the excitation parameters of photoluminescent low-location lighting materials (pl) // PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY.– 2008. – Vol. 84, No. 8. – P. 118–121.

3. *Pawlak, A.* Principles of operation of emergency lighting systems (pl) // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY.– 2015. – Vol. 91, No. 7. – P. 62–66.

4. EN1838: 2013 Lighting applications – Emergency lighting.

5. Emergency lighting systems. Catalogue 2105. AMATECH – AMABUD.

6. Emergency Lighting Luminaires' 2015. Catalogue HYBRYD.

7. Emergency lighting catalogue ZUMTOBEL.

Анджей Павлак (Andrzej Pawlak),
M. Sc. Окончил в 1987 г. Варшавский технический университет по специальности «Светотехника». Ассистент Национального исследовательского института «Центральный институт охраны труда». Член правления Польской комиссии по освещению

АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
Аттестат аккредитации № BY/112 02.10.1714 от 13.08.2012г.

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

LED optotechnologies
TESTLAB.LEDcenter.by

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

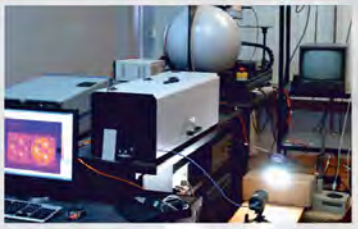
Испытательная лаборатория:
Тел.: +375-17-281-13-62
Моб.: +375-29-174-174-6
E-mail: led.testlab@gmail.com
Начальник ИЛ:
Цвирко Виталий Иванович

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)



О цветовом представлении природных основ жизни

Н.Л. ПАВЛОВ

Московский архитектурный институт (Государственная академия), Москва
E-mail: pavlovnl@mail.ru

... исследования возможной связи между физиологическими и культурными процессами ещё только начинаются.
Э.О. Уилсон

Аннотация

Рассмотрено различие позиций Ньютона и Гёте в подходе к рассмотрению спектрального состава света.

В развитие темы показано, что определённые цвета и их сочетания во многих культурных традициях представляют общепонятные наглядные природные основы жизни и некоторые аспекты устройства Вселенной.

Отмечено, что именно эти цвета, по-видимому, обусловлены специфическим свойством человеческого зрения и обладают очевидным приоритетом в системе восприятия и, соответственно, в составе языка.

Ключевые слова: цвет, природа, физиология, культура

Ньютон по результатам опытов разложения света с помощью призмы установил спектральную шкалу из семи основных цветов. Этой шкалой мы пользуемся и по сей день. До Ньютона такая шкала, начиная с античности, присутствовала в самых разных вариантах: в основном, из трёх–пяти основных цветов.

Рис.1. Храм Ипет Рес. Колоннада из двух рядов по семь колонн, олицетворяющая полноту жизненного бытия

Рис. 2. Золото – жёлтый цвет, цвет солнца, цвет божества:
а – Москва. Кремль. Благовещенский собор. Золотые купола; *б* – Москва. Церковь Вознесения в Коломенском. Храм проектируется от золотого шарика-солнца; *в* –С.-Петербург. Здание Адмиралтейства. Золотой шпиль-солнечный луч проектируется от золотого шарика-солнца; *г* – Германия. Зост. Церковь Св. Патрокла. Шатёр проектируется от золотого шарика-солнца; *д* – Мьянма. Пагода Шведагон. Гигантская ступа проектируется от золотого бутона-солнца; *е* – Византия. Фатхие Джами. Пантократор с золотым нимбом в люнете купола; *ж* – Россия. Вологда. Икона. Золотой нимб над головой святого; *з* – Индия. Аджанта. Роспись пещерного монастыря. Золотой нимб над головой Будды; *и* – Персия. Гигантский золотой нимб над головой обожествляемого Хосрова II; к – Непал. Катхманду. Кала Бхайрав – божество всепожирающего времени в золотом ореоле

Рис.3. Античная Греция. Синий цвет – цвет неба, цвет воды (небесного океана):
Синий цвет в триглифах и в каплях под тениями и мутулами представляет вертикальное истечение небесных вод. В поле фронтона – фоном для статуй богов, синий цвет представляет цвет неба

Особенность цветовой шкалы Ньютона в том, что шкала из семи цветов легко и естественно вписалась в природные и возникшие на их основе культурные числовые ряды. Семидневная фаза Луны – природный лунный цикл, перенесённый в культуру, – очевидно, породил неделю из семи дней и, соответственно, лунный месяц, состоящий из четырёх недель.

Этот основополагающий природный цикл проявился в целой системе представлений о полноте жизни и полном жизненном цикле. В Древнем Египте колоннады храмов, связанных с идеей порождения жизни, к примеру, храм Ипет Рес в Луксоре (рис. 1), содержат ряды из семи колонн, соотносимые с полным жизненным циклом человека. Полнота жизни отражена в многочисленных

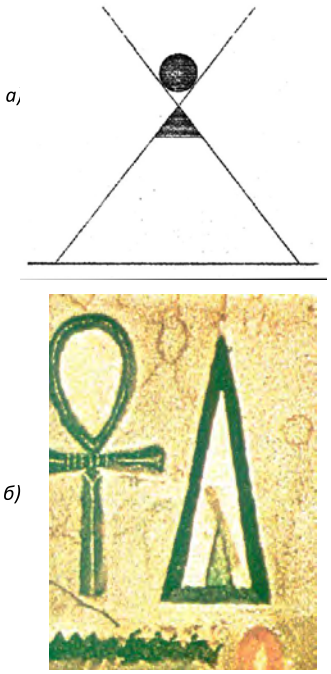


Рис. 4. Древний Египет:
а – пирамида с золочёной вершиной проектируется от солнца; *б* – иероглиф «пирамида» снаружи и изнутри окантован зелёным цветом – солнечный свет даёт жизнь всей растительности

Рис. 5. Красный цвет – цвет крови, цвет животной и человеческой жизни:
а – Античная Греция. Парфенон. Пояс метоп под карнизом храма на красном фоне представляет героическую «историю» греков. Реконструкция; *б* – Палеолит. Испания. Пещера Альтамира. Цепочка изображений быков на стенах первобытной пещеры. Красная охра; *в* – Неолит. Кипр. Лемба. Красной охрой под карнизом и по цоколю опоясан жилой дом; *г* – Античный Рим. Помпеи. Дом опоясан красным цоколем. Реконструкция; *д* – Античный Рим. Помпеи. Фреска на стене виллы заключена в красную рамку; *е* – Италия. Эпоха Ренессанса. Милан. Браманте. Церковь Санта Мария делла Грацие. Красные окантовки на поверхности фасада; *ж* – Тибет. Монастырь Самье. Красные фризы под карнизами храмов; *з* – Мексика. Культура майя. Бонампак. Красный пояс росписей под сводом храма представляет героическую «историю» майя

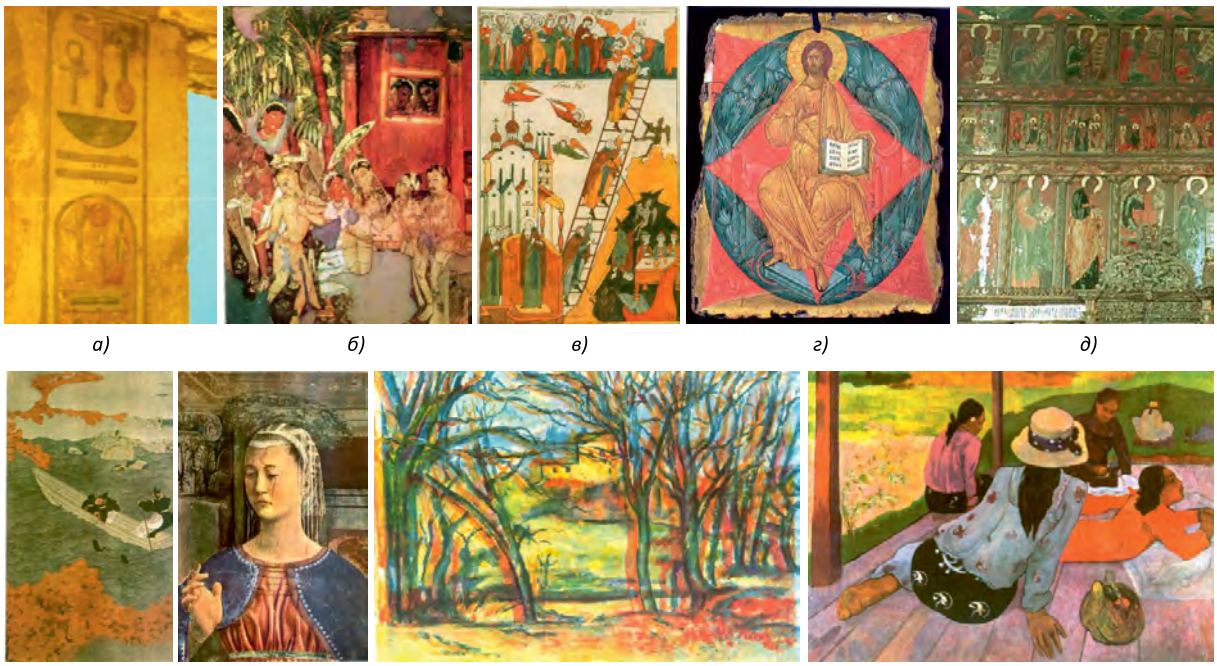


Рис. 6. Сочетания зелёного и красного цветов представляют гармонию растительной и животной жизней. Живопись:
а – Древний Египет. Роспись храма Рамзеса III; *б* – Древняя Индия. Аджанта. Роспись стен пещерного монастыря; *в* – Россия. Икона. Тема Лествицы; *г* – Россия. Икона. Спас в силах; *д* – Россия. Иконостас; *е* – Япония. Живописное полотно; *ж* – Италия. Ренессанс. Пьеро делла Франческа; *з* – Франция. Сезанн; *и* – Франция. Гоген

фольклорных текстах самых разных культурных традиций, связанных, в первую очередь, с представлениями о полноценной семье с семью детьми. К примеру, в русской традиции: семеро из одного стручка, семь Симеонов, семеро по лавкам, семеро одного не ждут и т.п.

Гёте в своём учении о цвете резко возражал против шкалы Ньютона. На основе целого ряда наблюдений он описал диалектику взаимодействия цветов. При этом Гёте рассмотрел и цвета как таковые, и соотношения цветов в неразрывной связи с восприятием их человеческим глазом [1, с. 21–62].

Развивая эту тему, можно заметить, что во многих культурных традициях цветовые реалии и их восприятие человеком образовали целую систему, в которой цвета представляют природные основы жизни.

Так, жёлтый цвет, естественно, соотносится с солнцем, с солнечным светом и с солнечным цветом золота – «вечного металла». Это представление отразилось и в языке. К примеру, в индоевропейской языковой семье цвет золота-солнца отмечен корнем «хр»-»кр». В санскрите золото – «хиранья», в греческом – «хрюзос»[1]. Соответственно, названия жёлтых красок – «охра», «крон».

Изначально время определялось по солнцу. Отсюда архаическое божество времени Хронос и производное от него Кронос – Время, пожирающее своих детей. «Цветовой оттенок» золотой, солнечной сакральности, по-видимому, присутствует и в имени Богочеловека – Христос, а соответственно и в самом термине, отмечающем место присутствия Бога: «храм» (рус.), «*kirche*» (нем.), «*church*» (англ.).

В иконографии эта тема фиксируется системой золотых, солнечных нимбов Бога и сопровождающих его персонажей: ангелов, евангелистов, святых. В архитектуре эта тема прямо утверждается золотыми куполами, шпилями и, главное, – золотым шариком-солнцем над ними, от которого, как от солнца, проектируется весь храм [2 с. 140–161] (рис. 2).

Время имеет цвет солнца, по которому его определяют.

Синий цвет, естественно, соотносится с цветом воды и цветом неба – небесного океана, из которого на землю в виде дождя поступает небесная благодать: вода – источник жизни. В повседневной античной традиции время представлялось двояко: как солнечное время (солнечные часы) и как истечение небесных вод (водяные часы).

В античной храмовой традиции нисхождение этой небесной благодати представлялось синим цветом в целой системе архитектурных деталей. Поле фронтона, на фоне которого античные боги были представлены в «небесном мире», окрашивалось в синий цвет – цвет неба, цвет вод небесного океана. Вертикальные детали ордера, представляющие истечение небесной благодати – воды-времени, окрашивались в синий цвет: триглифы (месяцы из трёх декад), тении и капли под ними (6×2 =12 капель-месяцев – год в каждом пролёте), мутулы и капли под ними (3×6×2 капель-декад – год в каждом пролёте). В античной архитектуре система циркуляции вод между небом и землёй представлялась как общая кольцевая вертикальная структура циркуляции вод, известная нам со школы как «круговорот воды в природе» [2, с. 253–280] (рис. 3).

Развивая тему смешения цветов, предложенную Гёте, следует отметить, что жёлтый цвет, соотносимый с солнечным светом, и синий, соотносимый с цветом воды, при их смешении образуют зелёный цвет – цвет растительной жизни. Цвета солнечного света и воды представляются как

[1] Соответственно, в буддизме, как и во многих других традициях, высшая, незыблемая небесная твердыня – золотая, в санскрите – «хармья».

Рис. 7. Сочетания зелёного и красного цветов представляют гармонию растительной и животной жизни. Архитектура: *а* – Италия. Флоренция. Джотто. Колокольня собора Санта Мария дель Фьоре. Оттенки зелёного и красного мрамора; *б* – Россия. Москва. Спасская башня Кремля. Красный кирпич и зелёные изразцы; *в* – Россия. Ярославль. Церковь Иоанна Предтечи в Толчкове. Красный кирпич и зелёные изразцы; *г* – Россия. Москва. Собор Покрова, что на Рву. Красный кирпич и зелёные изразцы

две основы земного варианта жизни. В Древнем Египте внутри золотого или жёлтого (солнечного) иероглифа «пирамида» помещался зелёный клинышек растительной жизни (рис. 4).

Красный цвет – цвет крови, цвет жизни (рис. 5) – уже в пещерной живописи первобытных охотников породил самое широкое использование красной охры, которая, по последним данным, специально выжигалась из железистых минералов.

Красный цвет – цвет крови и человеческой (животной) жизни – в античной храмовой традиции представлял круг земной жизни горизонтальными кольцевыми структурами по всему периметру храма: полочка под карнизом, верхняя и нижняя полочки фриза, круговые красные прорези («ремешки») под эхинами дорических капителей. В поясе метоп кольцевого фриза, представлявшего сюжеты разных эпических сражений (лапифов с кентаврами, греков с амазонками и т.п.) в качестве фона доминировал красный цвет. Эта же тема отражена в кольцевом построении греческих краснофигурных ваз.

Красно-коричневые терракотовые пояса под карнизами характерны для этрусской традиции. Позднее в росписях стен богатых римских вилл, отдельные сюжеты заключались в красную рамку. В таком, относительно позднем варианте картины жизни богов и людей замыкались уже в вертикальной плоскости. Красные пояса и красные рамки на фасаде характерны и для эпохи Ренессанса. Для многих других, отдалённых от Европы традиций, характерны горизонтальные ярко-красные пояса под карнизами и в росписях. По мере превращения живописи в светское станковое искусство рамы для картин начали делать из драгоценного красного дерева, а затем для придания картинам «импозантности» и своего рода «божественности» в обиход вошли золочёные рамы.

Воспринимаемое человеком как гармоничное, сочетание зелёного цвета, соотносимого с растительной жизнью, и красного, соотносимого с животной (человеческой) жизнью, с кровью, представляет природную гармонию этих двух форм жизни.

В живописи разные сочетания красного и зелёного цветов представляют именно этот особый род гармонии. В живописи красный и зелёный, синий и жёлтый считаются дополнительными цветами. Такие сочетания характерны не только для самых разных иконографических традиций, но и для лучших живописных произведений итальянского Ренессанса, которые, очевидно, восходят к античной и восточно христианской, византийской, традициям. Тема гармоничного сочетания зелёного и красного цветов богато представлена в русской иконографии и в живописи самых разных культурных традиций (рис. 6).

В традиционной русской архитектуре такая гармония представлена сочетанием красного кирпича и зелёных изразцов. На рёбрах шатра Спасской башни Московского Кремля зелёный (растительный) цвет пронизан вставками жёлтых (солнечных) изразцов, ниспадающих от золотого шарика-солнца (рис. 7).

В современных исследованиях по восприятию цвета человеком именно эти четыре цвета: красный и зелёный, жёлтый и синий занимают первые позиции как по активности их восприятия, так и по частотному упоминанию в самых разных языках. Интересно, что в плане восприятия именно этих четырёх цветов современная наука как бы развивает «интуиции» Гёте. В физиологическом отношении такое избирательное восприятие может быть объяснено наличием трёх типов колбочек в сетчатке человеческого глаза: «синих», «зелёных» и «красных» [3].

В итоге можно констатировать, что в человеческой культуре именно указанные сочетания цветов изначально легли в основу цветового представления самой жизни и ряда аспектов устройства Вселенной.

Позднее, с развитием и усложнением ритуалов, с введением в них разных видов локальных, достаточно произвольных условностей, на эти изначальные представления наложились вторичные цветовые представления, связанные с оформлением религиозных и иных догматов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гёте И.В.* Учение о цвете. Теория познания; пер. с нем. В.О. Лихтенштадта. – Изд. стер., [репр.]. – М.: URSS: ЛИБРОКОМ, 2014. – 195 с.
2. *Павлов Н.Л.* Алтарь. Ступа. Храм. Архаическое мироздание в архитектуре индоевропейцев. – М., ОЛМА-ПРЕСС, 2001. – 368 с.
3. *Уилсон Э.* Хозяева Земли. Социальное завоевание планеты человечеством. – СПб: Питер, 2014. – 352 с.

Павлов Николай Леонидович, *доктор архитектуры, профессор. Окончил в 1965 г. Московский архитектурный институт. Профессор кафедры «Советская и зарубежная архитектура» Московского архитектурного института (Государственной академии). Советник РААСН*

Копилка светлых идей

Н.В. ПОТАПОВА

Музей «Огни Москвы», Москва
E-mail: potapova_nat@list.ru

В 2014 году музей «Огни Москвы» начал работу над проектом «Копилка светлых идей», направленным на улучшение качества освещения музейных экспозиций. В результате проекта был создан центр музейных световых технологий, обратившись в который сотрудники музеев разного профиля могут познакомиться с интересными световыми решениями; узнать, как правильно составить техническое задание для светотехнической компании; и какие лучше выбрать светильники и источники света; правильно атрибутировать старинные осветительные приборы. С другой стороны, представители светотехнических компаний, заглянув в «Копилку светлых идей», могут поделиться своим опытом и лучше понять потребности музейных специалистов при работе над новыми экспозиционными проектами.

Музей «Огни Москвы» был основан в 1980 году сотрудниками предприятия «Мосгорсвет»; в 2004 году он получил статус самостоятельной некоммерческой организации. За 35 лет работы значительно увеличилась коллекция музея, с каждым годом становится все больше и больше посетителей, сотрудники музея разрабатывают новые культурно-образовательные программы, создают интересные выставочные и постоянные экспозиции. Неоднократно музей становился победителем престижных музейных конкурсов. В 2014 году сотрудники музея начали реализацию проекта «Копилка светлых идей», ставшего победителем конкурса «Меняющийся музей в меняющемся мире» Благотворительного фонда Владимира Потанина. Идея проекта была довольно смелой – создать на базе музея Ресурсный центр световых технологий для музейных сотрудников.

Сотрудники музея «Огни Москвы» обратили внимание на то, что роль света в музеях часто недооценивается. Экспозиционеры к свету относятся недостаточно внимательно: забывая о разрушительном воздействии оптического излучения на музейные предметы, слепящих эффектах и т. д. Складывается впечатление, что в осветительных приборах в некоторых музеях устанавливают лампы, которые просто попались под руку электрику. С другой стороны, для музеев (особенно небольших) создать хороший светотехнический проект оказывается невозможным из-за финансовых ограничений. Поэтому решено было создать электронную базу, в которой будет накапливаться информация, позволяющая музейным сотрудникам обмениваться положительным опытом в реализации светотехнических проектов. В итоге «Копилка светлых идей» состоит из нескольких разделов: история освещения, музейный проект, свет-художник, инструменты и технологии, экспонат в выгодном свете, эксперты и хитрости.

1. История освещения

В собраниях многих музеев есть старинные источники света, которые являются не только экспонатами, но и используются для освещения экспозиционных залов. В результате борьбы за энергоэффективность часто можно увидеть установленные в старинных бра и люстрах компактные люминесцентные лампы, которые разрушают атмосферу исторических интерьеров. Поэтому ещё в 2009 году сотрудники музея «Огни Москвы» совместно со студентами кафедры светотехники НИУ «МЭИ» проанализировали светотехнические характеристики старинных осветительных приборов.

В совершенно тёмном зале по очереди зажигали свечи, керосиновые лампы, велосипедные, каретные, автомобильные фонари. Параллельно фиксировалось, до какой отметки нужно понизить мощность лампы накаливания, чтобы свет был максимально приближён к свету пламенных источников света. Результатом проекта стала новая экспозиция в музее «Огни Москвы» – «Свет. Действующие лица...» (рис. 1, 2), при знакомстве с которой можно почувствовать себя пешеходом, затерявшимся на московских улицах прошлых столетий. Каждый посетитель может самостоя-

Рис. 1. Экспозиция «Свет. Действующие лица...». Фото Анастасии Замятиной. 2010 год

Рис. 2. Экспозиция «Свет. Действующие лица...». Фото Анастасии Замятиной. 2010 год

Таблица эквивалентных напряжений для пламенных и электрических источников света

Мощность Лампы накаливания, Вт	Напряжение на лампе, при котором её Тцв (цветовая температура) совпадает с Тцв пламенного источника, В	Напряжение на лампе в % (220 В – 100%)
	Свеча	
15	85	39
25	80	36
25	60	27
40	50	23
60	45	20
	Керосиновый фонарь (с ламповым стеклом)	
15	110	50
25	105	48
25	90	41
40	80	36
60	60	27
	Масляный фонарь	
15	90	41

Рис. 3. Во время семинара «Свет в музее». Март 2015 года. Фото музей «Огни Москвы». 2015 год

тельно «зажигать» фонари благодаря системе управления освещением *DALI*, которая безотказно работает уже шесть лет.

Если обратиться к истории освещения, то мы увидим, что практически до конца XIX века для освещения использовали только пламенные источники света, которые имеют весьма низкую цветовую температуру (не больше 3000K). Только дуговые электрические лампы, использовавшиеся во второй половине XIX – начале XX века и появившиеся в 50-е годы XX века люминесцентные лампы имеют высокую цветовую температуру (выше 5000 K). Следовательно, улицы и дома до середины XX века во всём мире по вечерам наполнялись приятным тёплым жёлтым светом. Поэтому данный факт нужно учитывать проектировщикам для воссоздания более точной исторической атмосферы в музеях-усадьбах, домах-музеях, создании исторических экспозиций.

2. Музейный проект

Знакомство с чужим опытом всегда полезно и может помочь реализовать на практике свои неповторимые светлые идеи. Поэтому в «Копилке светлых идей» собраны интересные проекты, где свет играет не последнюю роль.

Например, на выставке Лоренцо Лотто (1480–1557), проходившей в 2011 году в галерее римского дворца *Scuderie del Quirinale,* светотехникам впервые удалось достигнуть 3-мерного зрительного восприятия произведений живописи с помощью уникальных светильников с разноцветными светодиодами. Специальная оптика позволила исключить из белого излучения некоторые узкие спектральные зоны с определённой длиной волны, поэтому персонажи и предметы, изображённые на картинах Лоренцо Лотто, воспринимались объёмными. Новая философия освещения живописных работ была основана на фундаментальных достижениях в сфере нейрологии, физиологии и психологии зрительного восприятия.

Кто-то экспериментирует с новейшими технологиями, а кто-то наоборот, обращается к прошлому. Сотрудники музея Чарльза Диккенса в Лондоне стали регулярно проводить «Вечер при свечах». Один раз в неделю, ровно в 7 часов вечера в доме Диккенса, как и прежде, загораются масляные лампы и свечи, появляются язычки пламени в старинном камине. Огонь свечей «переносит» посетителей в викторианскую эпоху и даёт возможность увидеть, как выглядел тогда дом писателя после захода солнца.

В 2015 году сотрудники музея Анны Ахматовой в Фонтанном доме обновили экспозицию в «Белом зале», сделав попытку ввести посетителя в пространство ахматовского текста. Стоит посетителю протянуть руку к экспонату, предмет в витрине сразу же освещается лучом света, а на чёрном экране появляются строчки Анны Андреевны.

3. Инструменты и технологии

Правильно поставленный в экспозиции музея свет, по сути, является произведением искусства. Но не всегда у музеев есть возможность пригласить хорошего светотехника, в той или иной мере музейным специалистам нужно уметь самим пользоваться светотехническими инструментами. Поэтому музей «Огни Москвы» стал периодически проводить для сотрудников других музеев семинары и мастер-классы, на которых можно познакомиться с основными светотехническими характеристиками, нормами освещённости музейных

Нормы освещённости музейных экспонатов*

Группа экспонатов по степени светостойкости	Освещённость, лк	Цветовая температура, К	Относительное содержание излучений в УФ диапазоне, мкВт/лм	Относительное содержание излучений в ИК диапазоне, мкВт/лм
1. Стекло, керамика, минералы, металлы	200–500	4000–6000	20–200	30–40
2. Масляная живопись, кожа, дерево, кость, иконы	75–150	2700–3100	20–45	50–70
3. Акварель, темпера, ткань, бумага	30–50	2700–3100	20–30	90–120

* ГОСТ Р 8.586–2001

Допустимые уровни освещённости и безопасное время экспозиции музейных и галерейных экспонатов*

Категория материалов	Допустимая освещённость	Годовое время экспозиции (не более), ч/год	Предельная величина годового облучения экспоната лк·ч/год
Нечувствительные материалы	не ограничивается	не ограничивается	не ограничивается
Материалы с незначительной чувствительностью	200 лк	3000	600 000
Материалы средней чувствительности	50 лк	3000	150 000
Материалы высокой чувствительности	50 лк	300	15 000

* «*Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation», Technical Report, CIE157:2004. CIE* – Международная комиссия по освещению

экспонатов, различными приёмами освещения разных по своей структуре и форме экспонатов. В течение 2015 года было проведено три семинара, в которых смогли принять участие 75 сотрудников музеев из разных городов России. Хочется поблагодарить специалистов светотехнической компании «Точка опоры» за помощь в организации семинаров и реализации проекта «Копилка светлых идей» (рис. 3).

Очень часто проектировщики забывают о допустимых уровнях освещённости, и бывает так, что музейные предметы возвращаются даже с краткосрочной выставки в весьма плачевном состоянии. Замеры освещённости, которые удалось сделать в некоторых музеях сотрудникам музея «Огни Москвы», показали, что уровень освещённости в некоторых случаях в 5–6 раз превышал допустимые нормы.

Рис. 4. Открытка из серии «10 правил, как избежать ошибок при работе со светом». Художник Ксения Гринка. 2015 год

4. Экспонат в выгодном свете

На семинарах «Свет в музее» большое внимание сотрудники музея «Огни Москвы» пытались уделять различным приёмам освещения, чтобы коллеги из других музеев могли представить свои музейные экспонаты перед посетителями в самом выгодном свете.

В ходе реализации проекта «Копилка светлых идей» удалось провести анализ световых решений постоянных и выставочных экспозиций в ряде музеев: выставки «Царские потешные огни» в музее-заповеднике «Царицыно», выставки «АВТОР Жжёт», «Игроки» и постоянной экспозиции в Доме Гоголя, экспозиции Егорьевского историко-художественного музея, экспозиции музеев города Ульяновска, Дарвиновского музея, Бородинской панорамы. В большинстве случаев стало очевидно, что сотрудникам музеев достаточно бывает изменить месторасположение осветительного прибора или направить свет под другим углом, чтобы улучшить освещение в зале. Часто допускаются одни и те же ошибки, поэтому сотрудники музея «Огни Москвы»

Рис. 5. Экспозиция «Игра теней». Фото музей «Огни Москвы». 2016 год

Рис. 6. Экспозиция «Игра теней». Фото музей «Огни Москвы». 2016 год

разработали серию открыток «10 правил, как избежать ошибок при работе со светом» (рис. 4).

5. Свет – художник

Свет в музеях можно использовать и в качестве художественного средства, с помощью которого можно создать определённую эмоциональную атмосферу или даже отдельные самостоятельные произведения искусства. Уникальные опыты со светоживописью проводил ещё в 1930-е художник Павел Голубятников. В наше время рядом с нами творят замечательные художники, которые, используя физические свойства света, создают настоящие шедевры. В 70-е годы XX века эксперименты с тенью стал проводить японский художник и графический дизайнер Шигео Фукуда. Картина художника из Азербайджана Рашада Алакбарова «Полёт в Баку» произвела настоящий фурор в лондонской галерее *De Pury Gallery*. Японская художница Куми Ямашита создаёт свои нестандартные произведения при помощи беспорядочно разбросанных букв, которые, при направленном на них под определённым углом лучом света, образуют силуэты людей. Американский художник Джек Стормс из Калифорнии создаёт скульптуры из дихроичного стекла, которые представляет собой множество микрослоев металлов и их оксидов, сплавленных вместе с кристаллами кварца в условиях вакуума. Такое стекло обладает исключительным свойством преломлять лучи света и изменять цвет в зависимости от угла зрения, так что удаётся создать захватывающее и гипнотическое световое шоу.

6. Эксперты

К сожалению, только крупные музеи могут позволить себе иметь в штате хорошего специалиста по свету. В основном, при создании новых экспозиций музеям приходиться обращаться к услугам светотехнических компаний и при этом нужно понимать, имеют ли представители этой фирмы опыт работы с музейным освещением. В торговом центре, кафе, офисе светодизайнеры могут работать более свободно, реализуя самые смелые идеи. В музее светотехник должен искать компромисс между сохранностью экспонатов и их зрительным восприятием. Это тонкая работа, которая по плечу не каждому мастеру. Поэтому в нашей «Копилке светлых идей» также собрана информация о светотехнических компаниях, оказывающих услуги музеям, с оценкой выполненных ими работ. Также сотрудники музея «Огни Москвы» могут подсказать коллегам из других музеев, как правильно составить техническое задание, обращаясь за услугами к светотехническим фирмам.

7. Экспозиция «Игра теней»

В рамках проекта «Копилка светлых идей» был реализован новый экспозиционный проект в музее «Огни Москвы», где свет сыграл важную роль. В экспозиции «Игра теней», обычные на первый взгляд фонари и лампы высвечивают светлые и тёмные стороны развития советского государства в XX веке, а музейный образ создан посредством игры света и тени (рис.5). Перед командой, работающей над созданием этой экспозиции, была поставлена довольно непростая задача: создать чёткие тени на стенах зала, причём источник света можно было установить только в витрине на небольшом расстоянии от стены. Также нужно было учитывать, что стены имеют неровную сводчатую форму, так как музей расположен в старинных палатах XVII века. После ряда экспериментов в качестве источника света был подобран светодиод мощностью 3W, чтобы композиция из ЛЭП смотрелась гармонично на неровной стене, под витриной были размещены макеты ЛЭП, расположенные под разными углами и в разных плоскостях (рис.6).

В зале установлена современная система управления освещением, с помощью которой музейные сотрудники могут создать несколько световых картин. Посетители музея могут оказаться в «светлом городе», «вечернем городе» или просто посидеть под фонарём в московском дворике, сыграть в шашки или почитать газету. Для экскурсионных групп разработан специальный световой сценарий. В итоге, в зале площадью всего 70 кв. метров подключены 33 осветительных прибора, и в их свете сотрудники музея рассказывают не только об истории освещения Москвы в XX веке, но и в свете фонарей перед посетителями предстают картины из жизни социалистического государства. Начинается экскурсия с тусклого света керосиновой лампы, которая высвечивает остановившиеся часы и обо-

рванные провода на дореволюционных изоляторах. Но постепенно света становится всё больше и больше: загорается «лампочка Ильича», на стенах в зале вырисовываются тени многочисленных ЛЭП, высвечиваются лампы кремлёвских рубиновых звёзд, весь зал озаряют уличные фонари. И снова мрак. На затемнённом оконном стекле только едва виден плакат «Свет в окне – помощь врагу», зато каким радостным, долгожданным кажется свет после бесконечно тёмных четырёх лет войны. Москва вновь сияет, начинается бесконечная игра света и тени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 8.586–2001.
2. Дизайнерское бюро Consuline и концерн Targetti: новая философия и технология освещения произведений живописи XV–XVI вв./ http://ekb.k-to.ru/ru/interesting/events/detail.php? ID=1019
3. Исконный свет Салафиила / http://shr-nt.ru/node/286
4. *Праль В., Рёсслер Г.* Поиск и реализация путей снижения вредящего действия освещения на музейные экспонаты (на примере освещения Дома Эрнста Барлаха в Гамбурге)//Светотехника, 1999, № 5, С. 5–9.
5. *Праль В., Рёсслер Г.* Оптимизация дневного и искусственного света в музее// Светотехника, 2005, № 2, С. 27–33.
6. «Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation», Technical Report, CIE157:2004. CIE – Международная комиссия по освещению.

Потапова Наталья Владимировна *в 1995 году окончила Московский государственный институт культуры, кафедра музееведения и охраны памятников истории и культуры. После института работала младшим научным сотрудником Политехнического музея. С ноября 1996 года до настоящего времени руководитель музея «Огни Москвы». Автор проектов «Свет. Действующие лица…», «Музейная светотехническая лаборатория», «Включить фонари!», «Копилка светлых идей». В 2015 году прошла курс повышения квалификации в НИУ «МЭИ» по профессиональной программе «Прикладная светотехника».*

Миллионная световая точка для российских теплиц

Первый тепличный светильник (ОТ-400) был выпущен ОАО «Кадошкинский электротехнический завод» (КЭТЗ) в 1971 году. Спустя 45 лет светильник празднует юбилей. Уже этим летом на производстве светильников GALAD холдинга БЛ ГРУПП изготовят экземпляр, который станет миллионной по счёту световой точкой. Интересно, в каком округе, республике, районе, области засветится миллионный светильник нового поколения?

Массовое производство тепличных светильников на территории нашей страны началось в далёкие 70-е годы. Именно тогда, в СССР, стали активно строить промышленные теплицы. Овощным и плодовым культурам нужно было освещение, максимально приближённое к естественному солнечному свету. Необходимые культурам уровни освещённости как раз и смогли дать светильники производства КЭТЗ.

Спустя буквально три десятилетия после начала производства завод выпустил более 2.5 миллионов штук ОТ-400, а советские люди получили возможность в зимнее время покупать свежие и при этом богатые витаминами овощи, и даже такую редкость, как землянику.

В настоящее время светотехника для теплиц ушла далеко вперёд. «Дедушки» тепличного освещения, ОТ-400, устарели морально и технически. С начала 2000-х годов в теплицах стали применяться светильники нового типа с натриевыми фитолампами, мощностью 600 Вт, которые оказались в пять раз эффективнее старых.

Сегодня светильники продолжают совершенствоваться: выпускаются мощностью от 250 до 1000 Вт; с электромагнитными и электронными ПРА; с трубчатыми и зеркальными лампами, световая отдача которых достигает 150 лм/Вт.

За последние годы существенно изменились как конструкция теплиц, так и сами тепличные технологии. В настоящее время активно внедряется технология интенсивной светокультуры, основанная на использовании искусственного освещения в теплицах 6–7 месяцев в году при уровнях освещённости до 25 000 люкс. Интенсивность современного тепличного освещения столь высока, что электроэнергия, потребляемая приблизительно 2000 Га теплиц, больше, чем в наружном освещении Москвы, Санкт-Петербурга и ещё нескольких крупных городов!

Все ноу-хау и последние тенденции в области тепличных технологий тщательно учитываются при создании тепличных светильников конструкторами холдинга БЛ ГРУПП. Например, при разработке подвесных светильников торговой марки GALAD модели ЖСП.

Сейчас, когда на повестке дня объявленный правительством курс на эффективную реализацию импортозамещения, в частности, в сельском хозяйстве, наш, кадошкинский, проверенный временем, соответствующий европейским стандартам, тепличный светильник ЖСП GALAD, является той – важной – составляющей для успешной реализации проектов развития отечественных тепличных хозяйств.

Победа LED

Новый светодиодный светильник экономкласса от НПО GALAD в красивом и лёгком стальном корпусе.

При разработке корпуса Победа LED применён более чем 50-летний технологический опыт производства традиционных уличных светильников. Светильников, работающих в реальных условиях очень долго.

В Победа LED использованы японские светодиоды Nichia и блок питания повышенной надёжности на основе дросселя – ИПСЭМ. Вторичная оптика собственного производства обеспечивает наиболее популярные варианты кривой силы света для уличного применения.

Диапазон мощностей – 60–150 Вт. Световая эффективность в зависимости от мощности от 95 лм/Вт до 105 лм/Вт при ЦКТ = 5000 К и Ra = 80. Средняя стоимость – 5000 рублей.

Сравнительный анализ влияния искусственного освещения на поведенческую активность экспериментальных животных

М.В. ОСИКОВ,[1] О.Г. ГИЗИНГЕР,[2] О.И. ОГНЕВА[1], О.Р. БОКОВА[2], В.Г. ЧУДИНОВА[2]

[1] ГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Челябинск, Россия.

[2] ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия.

E-mail: ogizinger@gmail.com

Аннотация

В статье представлены результаты сравнительного исследования влияния светодиодных и люминесцентных источников света на этологический статус лабораторных животных. Исследование проводилось на 46 морских свинках. Поведенческую активность наблюдали в тесте «Открытое поле», когнитивную функцию – в тесте «Водный лабиринт Морриса». Результаты исследования показали, что в условиях как люминесцентного, так и светодиодного освещения у животных отсутствуют признаки тревоги, угнетения ориентировочно-исследовательского поведения, признаки снижения способности к обучению и долговременной памяти; отмечено улучшение ориентации в пространстве на 30-й день исследований по сравнению с 10-ым и 20-м днями наблюдений. При сравнительном анализе этологического статуса животных установлено, что показатели, отражающие ориентацию в пространстве по наружным ориентирам при светодиодном и люминесцентном освещении, повышаются по сравнению с естественным освещением. Статистически значимой разницы влияния на ориентацию животных светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным не выявлено.

Ключевые слова: светодиодное освещение, люминесцентное освещение, лабораторные животные, поведенческая активность, этологический статус.

1. Актуальность

Приоритетным направлением в области энергосберегающего освещения является использование светодиодных источников, что связано с их преимуществами в эксплуатации [4,5,6]. Исследования медико-биологических эффектов освещения в последние годы показали, что свет видимой части спектра оказывает воздействие на ряд физиологических и психофизиологических процессов в организме [7,9,10]. Авторами ранее было продемонстрировано, что при десинхронозе в условиях люминесцентного освещения регистрируются изменения этологического статуса животных на 10-е сутки по сравнению со светодиодными источниками [4,5], однако важен сравнительный анализ влияния светодиодных и люминесцентных источников искусственного света. Интерес биологов, физиологов поддерживается ежегодным ростом и широким использованием светодиодных источников света вместо люминесцентных, что в конечном итоге делает актуальным сравнительное исследование влияния света этих типов источников на поведенческую активность и когнитивную функцию животных [12].

Цель исследования – провести сравнительную оценку этологического статуса лабораторных животных в условиях искусственного светодиодного и люминесцентного освещений.

2. Материалы и методы

Для исследований взяты 46 морских свинок из питомника лабораторных животных филиала ФГУП НПО «Микроген» МЗ РФ, находящихся в стандартных условиях вивария, на типовом рационе в соответствии с нормами, утверждёнными Приказом Минздрава СССР № 1179 от 10.10.1983 г., в свободном доступе к пище и воде. Все манипуляции с экспериментальными животными выполнялись в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (*ETSIN123*, 18 марта 1986 г.), включая приложение А от 15.06.2006 г. и Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях от 22.09.2010 г. Были проведены экспериментальные исследования в условиях *in vivo* на нелинейных половозрелых самцах морских свинок массой 300±50 г. Объектом исследования выбрана морская свинка, т. к. в отличие от других экспериментальных животных (крыс, мышей) по образу жизни она является животным с дневной активностью [8,15,16]. Световосприятие и цветовосприятие у морских свинок приближено к цветовой чувствительности человеческого глаза, что делает их адекватным объектом для изучения свет-ассоциированных изменённых состояний [13, 14,15].

В исследовании использованы люминесцентные и светодиодные источники, основные характеристики которых представлены в табл. 1.

Искусственные источники располагались на расстоянии 250 см над клетками с животными таким образом, чтобы световой поток равномерно освещал периметр клетки.

Естественная освещённость в помещении на уровне клеток менялась в течение суток в соответствии с сезоном (август–сентябрь) и особенностями годовой фотопериодичности Южного Урала: в утренние часы (8–9 часов) – 50–200 лк, днём (10–16 часов) – до 800 лк в ясный день и 500 лк в пасмурный день, к вечеру (18–20 часов) – 150–300 лк. Продолжительность светового дня составляла 12–14 часов.

Для исследования 46 морских свинок случайным образом были разделены на группы: группа 1 (n=8) – животные в условиях естественного освещения – ЕО (12 часов свет / 12 часов темнота), группа 2 (n=20) – животные в условиях стандартного фиксированного освещения (12 часов свет / 12 часов темнота), создаваемого люминесцентными лампами – (СФЛО), группа 3 (n=18) – животные в условиях стандартного фиксированного освещения, создаваемого светодиодными лампами – (СФСДО). На животных проведено исследование

Таблица 1

Основные характеристики искусственных источников освещения, использованных для проведения исследования

Показатель	Светодиодные источники света	Люминесцентные источники света
Производитель	«*ISAlight* – Офис 32», ООО «Инженерные Системы Автоматизации», Россия	«*LLAlight* – Офис 30», ООО «Инженерные Системы Автоматизации», Россия
Индекс цветопередачи, R_a	75	75
Цвет излучения, *K*	4500 (нейтрально-белый)	4500 (нейтрально-белый)
Пульсация светового потока, %	менее 4 % (1 %)	менее 5 %
Уровень освещённости, лк	400	420

этологического статуса с использованием актографа «Открытое поле» и «Водного лабиринта Морриса» [2]. Оценку показателей в условиях ЕО, СФЛО, СФСДО осуществляли на 10-е, 20-е, 30-е сутки эксперимента. Продолжительность эксперимента составила 30 суток.

Тест «Открытое поле» проводится с целью изучения поведения экспериментальных животных в новых (стрессогенных) условиях и позволяет оценить по выраженности и динамике отдельных поведенческих элементов, во-первых, уровень эмоционально-поведенческой реактивности животного, во-вторых, стратегию ориентировочно-исследовательского поведения [13].

Актограф (рис. 1) представляет собой открытую квадратную площадку 80×80 см, ограниченную по периметру непрозрачными бортами. Дно арены разделено на 16 квадратов, в центре каждого квадрата имеется 1 отверстие диаметром 3 см, предназначенное для выявления видоспецифического компонента исследовательской активности у грызунов (норковый рефлекс). Исследуемое животное помещали в открытое поле в угловой квадрат у стенки арены. Тест продолжался 30 минут. Каждое животное тестировалось один раз [14].

В ходе теста регистрировали последовательности поведенческих актов: горизонтальную активность (ГА) – число пересечённых квадратов на дне арены, вертикальную активность (ВА) – число стоек животного на задних лапах с опорой и без опоры на борт арены, исследовательскую активность (ИА) – число заглядываний в отверстия в полу арены, число актов груминга (ГР), количество фекальных болюсов (ФБ). Поведенческие акты и вегетативные реакции регистрировали с помощью цифровой видеокамеры. Полученные данные обрабатывали с использованием компьютерной программы «Real Timer» (ООО «НПК Открытая Наука», Россия).

Тест «Водный лабиринт Морриса» применяется для исследования у животных состояния когнитивной функции, способности к пространственной навигации [15]. Для проведения теста использовался бассейн диаметром 180 см и высотой 60 см, заполненный водой (рис. 2). Воду в бассейне окрашивали молоком, для исключения возможности визуально распознавать подводную платформу. Температура воды составляла 24±2 °С. На стенах бассейна закрепляли изображения черно-белых геометрических фигур для облегчения ориентирования животных в пространстве (круг, квадрат, треугольник, ромб). Платформу из полупрозрачного оргстекла (15×15) см помещали в центр северного сектора бассейна (рядом с фигурой ромба), ниже уровня воды на 1–2 см. Проводился тест со скрытой платформой, тест на зрительное восприятие и тест без платформы. Движения животных фиксировали с помощью видеокамеры, размещённой над бассейном. В «Водном лабиринте Морриса» было выполнено три серии

Рис. 1. Тест «Открытое поле»

тестов: 4–10-е сутки эксперимента, 14–20-е сутки эксперимента, 20–30-е сутки эксперимента. В каждой серии тестов участвовали разные животные.

В тесте со скрытой платформой ежедневно в течение четырёх дней животным давали по 2 попытки поиска невидимой с поверхности воды платформы. Каждый день меняли сектор запуска животного в бассейн. Регистрировали среднее время поиска платформы и среднюю длину траектории поиска. Расчёт траектории перемещения животного осуществляли с помощью программы «*Any-maze*» («*Stoelting Co.*», США).

Рис. 2. Тест «Водный лабиринт Морриса»

Таблица 2

Показатели теста «Открытое поле» в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения (M±m)

Показатели	Группа 1 ЕО (n=8)	Группа 2 СФЛО		
		10 сутки (n=6)	20 сутки (n=8)	30 сутки (n=6)
Горизонтальная активность, количество актов	19,25±4,96	29,67±2,79 *	23,00±3,11	29,33±4,15 *
Вертикальная активность, количество актов	1,50±0,18	2,67±0,21 *	1,67±0,42	2,00±0,37
Исследовательская активность, количество актов	3,50±0,62	5,00±0,97	2,67±0,21	3,33±0,21
Груминг, количество актов	3,37±0,46	1,67±0,42	1,33±0,21 *	2,67±0,76
Фекальные болюсы, количество актов	7,37±0,80	5,00±1,32	5,33±0,76	4,33±0,42 *

Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

Таблица 3

Показатели теста «Открытое поле» в условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения (M±m)

Показатели	Группа ЕО	Группа СФСДО		
		10 сутки	20 сутки	30 сутки
Горизонтальная активность, количество актов	19,25±4,96	28,67±2,20 *	34,33±5,06 *	31,33±2,49 *
Вертикальная активность, количество актов	1,50±0,18	2,67±0,42 *	3,67±0,76 *	2,67±0,22 *
Исследовательская активность, количество актов	3,50±0,62	5,33±0,76	6,00±0,97 *	3,67±0,56
Груминг, количество актов	3,37±0,46	3,00±0,37	3,67±0,76	1,33±0,21 *
Фекальные болюсы, количество актов	7,37±0,80	6,00±0,97	5,67±0,56	5,00±0,73

Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО

На 5-й день проводили два теста: на зрительное восприятие и тест без платформы.

В тесте на зрительное восприятие в южный сектор (напротив сектора, в котором располагалась платформа) помещали возвышающуюся на 1,5 см над водой чёрную платформу, затем регистрировали время, за которое животное находит платформу.

В тесте без платформы животных помещали в южный сектор. Регистрировали время пребывания животного в каждом секторе и процент нахождения животных в секторе. Характеристика выборок представлена в формате «M±m», где M – среднее арифметическое значение признака, m –стандартная ошибка среднего. Для анализа нормальности распределения применяли критерий Шапиро-Уилка, для проверки гипотез о равенстве генеральных дисперсий – критерий Левена. Проверку статистических гипотез в группах проводили с использованием критериев Манна-Уитни (*U*), и Вальда-Вольфовитца (*WW*). Отличия считали значимыми при p⩽0,05, при p>0,05 принимали гипотезу о незначимости статистических различий.

3. Результаты и обсуждение

В тесте «Открытое поле» в условиях люминесцентного освещения по сравнению с естественным отмечено повышение горизонтальной активности на 10-е сутки и 30-е сутки наблюдений, повышение вертикальной активности на 10-е сутки, снижение количества актов груминга на 20-е сутки, снижение количества фекальных болюсов на 30-е сутки эксперимента (табл. 1).

Повышение горизонтальной и вертикальной активности на 10-е сутки свидетельствует об активном ориентировочно-исследовательском поведении и отсутствии чувства тревоги у животных, что отражает исследовательскую составляющую поведения. Снижение груминга на 20-е сутки интерпретируется только в сочетании с изменением других показателей. Учитывая, что остальные параметры не отличаются от показателей группы, исследуемой в естественном освещении, также можно отметить, что у животных отсутствуют призна-

Таблица 4

Время нахождения платформы в тесте со скрытой платформой в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения (M±m)

Показатели	Группа 1 ЕО (n=8)	Группа 2 СФЛО		
		10 сутки (n=6)	20 сутки (n=8)	30 сутки (n=6)
1 день, с	86,38±1,71	86,83±1,10	75,25±5,13	84,33±3,58
2 день, с	76,81±4,06	78,83±5,64	59,63±7,15	64,00±3,18 *
3 день, с	58,31±6,16	60,33±5,24	60,13±5,57	46,67±5,57 *
4 день, с	35,19±5,45	22,50±2,69	46,87±3,92	18,17±2,89 *

Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

Таблица 5

Длина траектории нахождения скрытой под водой платформы в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения (M±m)

Показатели	Группа 1 ЕО (n=8)	Группа 2 СФЛО		
		10 сутки (n=6)	20 сутки (n=8)	30 сутки (n=6)
1 день, м	19,62±1,25	20,03±1,92	18,48±1,88	22,22±1,73
2 день, м	17,49±0,87	18,09±1,13	17,53±1,31	19,23±1,11
3 день, м	14,68±1,04	14,36±1,42	13,89±0,94	13,15±1,11
4 день, м	13,54±0,39	14,30±1,27	12,80±0,75	11,27±0,30

ки тревоги, ориентировочно-исследовательское поведение не страдает. На 30-е сутки сочетание повышения горизонтальной активности и снижения количества фекальных болюсов, отражающих вегетативную реакцию животного, указывают на отсутствие у животных признаков тревоги и признаков угнетения ориентировочно-исследовательского поведения.

Итак, у животных отмечено отсутствие признаков тревоги, угнетения ориентировочно-исследовательского поведения на 10, 20 и 30-е сутки.

В условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения по сравнению с естественным освещением в тесте «Открытое поле» установлено, что горизонтальная и вертикальная активность животных повышается на 10, 20 и 30-е сутки наблюдения, исследовательская активность повышается на 20-е сутки, количество актов груминга снижается на 20-е сутки эксперимента (табл. 3).

Повышение горизонтальной и вертикальной активности на 10 и 20-е сутки и повышение исследовательской активности на 20-е сутки отражает активное ориентировочно-исследовательское поведение животных. На 30-е сутки снижение количества актов груминга на фоне высоких показателей горизонтальной и вертикальной активности в совокупности указывает на отсутствие признаков тревоги и угнетения ориентировочно-исследовательского поведения. Таким образом, у животных зафик-

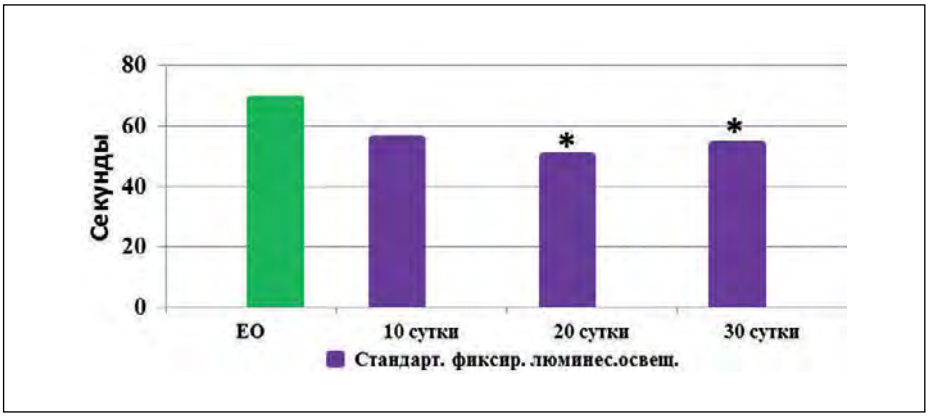


Рис. 3. Время нахождения видимой платформы в тесте на зрительное восприятие в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения.
Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

Таблица 6

Доля времени нахождения животного в области расположения подводной платформы в тесте без платформы в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения (M±m)

Показатели	Группа 1 ЕО (n=8)	Группа 2 СФЛО		
		10 сутки (n=6)	20 сутки (n=8)	30 сутки (n=6)
Доля времени, %	69,30±5,88	71,33±2,56	70,25±3,71	71,33±3,04

Таблица 7

Время нахождения скрытой под водой платформы в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения (M±m)

Показатели	Группа 1 ЕО (n=8)	Группа 3 СФСДО		
		10 сутки (n=6)	20 сутки (n=6)	30 сутки (n=6)
1 день, с	86,38±1,71	73,17±4,25	83,83±1,69	58,67±4,23 *
2 день, с	76,81±4,06	62,67±3,22	60,50±10,05	21,83±9,39 *
3 день, с	58,31±6,16	48,00±3,80	48,33±5,01	17,33±2,38 *
4 день, с	35,19±5,45	43,33±5,75	46,50±6,32	14,33±3,01 *

Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

Таблица 8

Длина траектории поиска скрытой платформы в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения (M±m)

Показатели	Группа ЕО	Группа СФСДО		
		10 сутки	20 сутки	30 сутки
1 день, м	19,62±1,25	21,56±1,66	20,07±2,09	21,74±1,66
2 день, м	17,49±0,87	17,94±0,93	19,06±1,40	19,45±1,04
3 день, м	14,68±1,04	14,34±1,21	14,99±1,06	13,32±1,08
4 день, м	13,54±0,39	13,46±1,87	12,00±1,04	11,56±0,35*

Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

сировано отсутствие признаков тревоги, угнетения ориентировочно-исследовательского поведения на 10, 20 и 30-е сутки.

При стандартном фиксированном люминесцентном освещении в тесте со скрытой платформой «Водного лабиринта Морриса» наблюдалось уменьшение времени поиска платформы на 30-е сутки, длина траектории поиска платформы не изменялась (табл. 4, 5).

При проведении теста на зрительное восприятие было отмечено уменьшение времени нахождения видимой платформы на 20 и 30-е сутки эксперимента (рис. 3).

В тесте без платформы не обнаружено отличий во времени нахождения животного в области расположения подводной платформы во все сроки эксперимента (табл. 6).

Итак, в ряде тестов «Водного лабиринта Морриса» в условиях стандартного фиксированного люминесцентного освещения отмечено улучшение ориентации животных в пространстве на 20 и 30-е сутки, отсутствие признаков снижения способности к обучению и долговременной памяти во все сроки эксперимента.

При изучении когнитивной функции животных в условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения в тесте со скрытой платформой «Водного лабиринта Морриса» время поиска платформы на 10 и 20-е сутки и не отличается от группы естественного освещения (табл. 7). На 30-е сутки время нахождения было наименьшим по сравнению с группой естественно-

Таблица 9

Доля времени нахождения животного в области расположения подводной платформы в «Водном лабиринте Морриса» в условиях стандартного фиксированного светодиодного освещения(M±m)

Показатели	Группа ЕО	Группа СФСДО		
		10 сутки	20 сутки	30 сутки
Доля времени, %	69,30±5,88	68,00±5,80	69,33±3,90	66,67±8,89

го освещения во все дни проведения эксперимента. При исследовании длины траектории поиска скрытой платформы не обнаружено отличий от группы естественного освещения на 10, 20 и 30-е сутки во все сроки эксперимента (табл. 8).

При проведении теста на зрительное восприятие время нахождения видимой платформы уменьшается по сравнению с группой естественного освещения на 10, 20 и 30-е сутки эксперимента (рис. 4).

При оценке теста без платформы доля времени нахождения животного в той области, где располагалась скрытая платформа, на 10, 20 и 30-е сутки не отличается от группы естественного освещения (табл. 9).

При сравнительном анализе этологического статуса животных в условиях искусственного освещения отмечено, что показатели, отражающие ориентацию в пространстве по наружным ориентирам при светодиодном освещении, повышаются в более ранние сроки, чем при люминесцентном, а именно, на 10-е сутки, однако статистическая разница таких различий недостоверна. Возможным объяснением полученных результатов является то, что искусственные источники создают постоянный уровень освещённости объекта и угол падения света на объект, что позволяет воспринимать объекты с меньшей погрешностью в размерах, форме и цвете, что способствует их лучшему запоминанию [11,12].

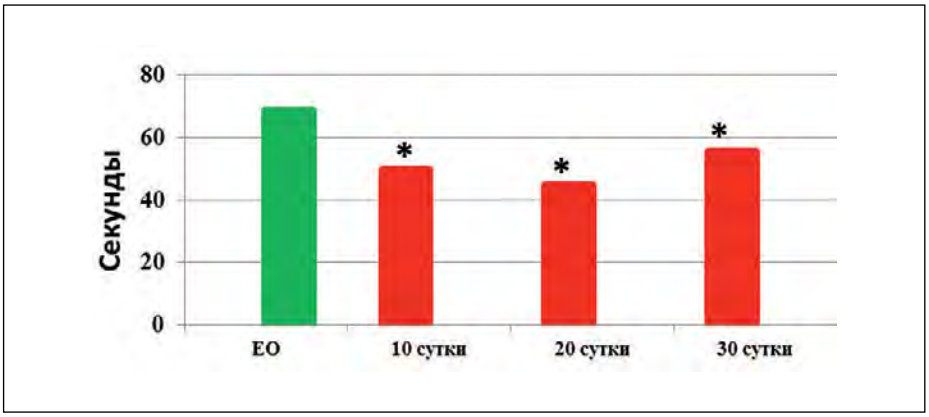


Рисунок 4 – Время нахождения видимой платформы в тесте на зрительное восприятие в условиях светодиодного освещения.
Примечание. * – значимые (p<0,05) различия с группой ЕО.

4. Выводы

В условиях стандартного фиксированного люминесцентного и светодиодного освещения по сравнению с естественным у животных не обнаружено признаков тревоги, угнетения ориентировочно-исследовательского поведения, признаков снижения способности к обучению и долговременной памяти, отмечено улучшение ориентации в пространстве.

При сравнительном анализе этологического статуса животных установлено, что показатели, отражающие ориентацию в пространстве по наружным ориентирам при светодиодном и люминесцентном освещении, повышаются по сравнению с естественным освещением. Статистически значимой разницы влияния на ориентацию животных светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным не выявлено.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 14.516.11.0091 от 01.07.2013 г.) и ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в рамках программы «У.М.Н.И.К.» 2013–2015 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буреш, Я.* Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения / Я. Буреш, О. Бурешова, Д.П. Хьюстон. – М.: Высш. шк.– 1991. – С. 119–122.

2. *Гизингер, О.А.* Исследовательские подходы в области безопасности освещения в условиях мегаполиса / О.А. Гизингер, М.В. Осиков, О.Р. Бокова, Е.В. Долин, О.И. Огнева //Полупроводниковая светотехника.– 2013. – Т. 1, № 21. – С. 60–61.

3. *Осиков, М.В.* Этологический статус и когнитивная функция при экспериментальном десинхронозе в условиях светодиодного освещения [Электронный ресурс] / М.В. Осиков, О.А. Гизингер, О.И. Огнева, А.А. Федосов // Фундаментальные исследования.– 2015.– № 1–7. – С. 1392–1396. – Режим доступа: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37977 (16.02.2016).

4. *Осиков, М.В.* Иммунный статус и поведенческая активность при экспериментальном десинхронозе в условиях люминесцентного освещения / М.В. Осиков, О.А. Гизингер, О.И. Огнева // Российский иммунологический журнал.– 2015. – Т. 9 (18), № 2(1). – С. 301–303.

5. *Дейнего, В.Н.* Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека / В.Н. Дейнего, В.А. Капцов // Гигиена и санитария.– 2013.– № 6. – С. 81–84.

6. *Закгейм, А.Л.* Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья / А.Л. Закгейм // Светотехника.– 2012.– № 6. – С. 12–21.

7. *Осиков, М.В.* Медико-биологические и санитарно-гигиенические аспек-

ты инновационных технологий уличного, интерьерного и промышленного освещения / М.В. Осиков, Л.Ф. Телешева, О.А. Гизингер, О.И. Огнева и др. // Известия высших учебных заведений. Уральский регион.– 2012.– № 4. – С. 181–187.

8. Способ оценки воздействия искусственного света на состояние факторов периферической крови и врождённого иммунитета с использованием модели лабораторных животных: заявка № 2014117407 / О.А. Гизингер, М.В. Осиков, О.И. Огнева.– № 2556556. – Зарегистрирован 16.06.2015.

9. *Ронки, Л.Р.* И тёплый, и холодный свет, и тонкая структура циркадности// Светотехника. 2014.– № 3. – С. 11–16.

10. *Слайни, Д.Х.* Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей // Светотехника.– 2010.– № 3. – С. 49–50.

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

12. *Судаков, С.К.* Определение уровня тревожности у крыс в тестах «Открытое поле», «Крестообразный приподнятый лабиринт» и тесте Фогеля / С.К. Судаков, Г.А. Назарова, Е.В. Алексеева [и др.] // Бюл. эксп. биологии и медицины.– 2013. – Т. 155.– № 3. – С. 268–270.

13. *Jacobs, G.H.* Evolution of colour vision in mammals // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol Sci.– 2009. – Vol. 364.– № 1531. – P. 2957–2967.

14. *Jacobs, G.H.* Influence of cone pigment coexpression on spectral sensitivity and color vision in the mouse / G.H. Jacobs, G.A. Williams, J.A. Fenwick [et al.] / Vision Res.– 2004. – Vol. 44.– № 14. – P. 1615–1622.

15. *Morris, R.G.* Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat // J. Neurosci. Methods.– 1984. – Vol. 11.– № 1. – P. 47–60.

16. *Ostrin, L.A.* Pharmacologically Stimulated Pupil and Accommodative Changes in Guinea Pigs / L.A. Ostrin, M.B. Garcia, V. Choh [et al.] // Invest Ophthalmol. Vis. Sci.– 2014. – Vol. 55.– № 8. – P. 5456–5465.

17. *Shuboni, D.D.* Acute effects of light on the brain and behavior of diurnal Arvicanthis niloticus and nocturnal Mus musculus / D.D. Shuboni, S.L. Cramm, L. Yan, C. Ramanathan, B.L. Cavanaugh, A.A. Nunez, L. Smale / Physiol. Behav.– 2015. – Vol. 138. – P. 75–86.

Осиков Михаил Владимирович, *доктор медицинских наук, профессор кафедры патофизиологии ЮУГМУ Минздрава РФ, член-корреспондент Российской академии естествознания, закончил Челябинскую государственную медицинскую академию, г. Челябинск, Россия*

Гизингер Оксана Анатольевна, *доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии и клинической лабораторной диагностики, старший научный сотрудник НИИ Иммунологии ЮУГМУ Минздрава РФ, г. Челябинск, Россия*

Огнева Ольга Игоревна, *аспирант ЮУГМУ Минздрава РФ, закончила Челябинскую государственную медицинскую академию г. Челябинск, Россия*

Бокова Ольга Романовна, *архитектор, доцент кафедры дизайна Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), член Союза дизайнеров России, закончила Свердловский архитектурный институт, г. Челябинск, Россия*

Чудинова Виктория Геннадьевна, *архитектор, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры Южно-Уральского государственного университета университета (национального исследовательского университета), член Союза архитекторов России, г. Челябинск, Россия*

Thorn освещает французские футбольные стадионы для финала ЕВРО 2016

Thorn, Zumtobel Group бренд, обеспечил новое освещение трех стадионов, из числа выбранных для проведения финальных игр ЕВРО 2016, гарантировав, что матчи будут смотреться в самом лучшем свете. Ключевым фактором здесь были строгие требования, установленные УЕФА для телевизионных трансляций. Широкие полосы света использует *Thorn* на стадионе «*Geoffroy-Guichard*» в г. Сен-Этьен, на Стадионе Света "*Stade des Lumières*" в Лионе и на стадионе *Allianz*-Ривьеры в Ницце (см. 1 стр. обложки). Все вместе эти привлекательные проекты для команды *Thorn* во Франции определили контракты стоимостью почти 1,5 миллиона евро.

Международная группа освещения *Zumtobel Group* уже поддерживала много главных спортивных мероприятий. У *Thorn* есть опыт более сорока лет работы в освещении спортивных объектов, его инновационные продукты гарантируют, что световая среда будет превосходной во время волнующих столкновений ЕВРО 2016.

Лондон, июнь 2016

Стадион «*Geoffroy Guichard*», Сен-Этьен.
Фото: © Vincent Fillon

Стадион света в Лионе.
Фото: © Stephane Guiochon

К выходу очередного пособия Москомархитектуры по комплексному благоустройству и освещению Москвы

Н.И. ЩЕПЕТКОВ

Московский архитектурный институт (Государственная академия), Москва
E-mail: n_shchepetkov@inbox.ru

Аннотация

Критически рассмотрен раздел «Освещение», представленный в новом методическом пособии для проектировщиков, разработанном ГУП «Главное архитектурно-планировочное управление Москомархитектуры» по заказу Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы (Москомархитектура). Отмечена элементарность уровня графических материалов и комментариев, не отражающего современный опыт в этой области и потому не способствующего повышению качества искусственной световой среды города.

Ключевые слова: комплексное благоустройство, освещение, световой дизайн, световая среда города, научные исследования.

Под «занавес» ушедшего 2015 г. Комитет по архитектуре и градостроительству города Москвы (Москомархитектура) выпустил капитальный труд в цвете тиражом 1000 экз. – «Альбом типовых решений (стандартов) комплексного благоустройства территории «вылетных» магистралей города Москвы» [1] (рис. 1). Естественно было ожидать, что в нём не останется без внимания и актуальная сегодня тема искусственного освещения городской среды на этих магистралях, тем более, что в их структуре выделены не только транспортные зоны, но и пешеходные, рекреационные, общественные и др. Тема «Освещение» действительно представлена, повторяясь в разных главах десяток раз, но отражена так, что лучше бы просто ограничились её упоминанием во вводных главах без ни к чему не обязывающих иллюстраций и комментариев.

Главное впечатление от сего труда, рекомендованного Архсоветом Москвы к тиражированному употреблению как «новая методика проектирования примагистральных пространств», выражают три вывода, по крайней мере, по разделу «Освещение», выделенному во всех главах отдельным параграфом:

• Комплексное благоустройство понимается авторами в архаичном виде полувековой давности исключительно как процесс и результат материального оборудования антропогенизируемой городской среды с целью создания утилитарного комфорта без постановки сверхзадачи обеспечения её образной выразительности. Формально существующий в трёх из пяти глав однотипный параграф «Зона формирования архитектурно-художественного облика города» никакого отношения к этой сверхзадаче не имеет, ибо образные характеристики среды определяются освещением (нет света – нет образа): днём – естественным, при котором традиционно и даны несколько сотен цветных изображений (хотя о цвете, о колористике городской среды – лишь несколько упоминаний), а вечером – искусственным, которому посвящены аж 12 ночных безадресных снимков. День и ночь – две разные, реально существующие и уже почти равноправные «ипостаси» городской среды, причём вторая – полностью рукотворная. Поэтому комплексность может пониматься двояко (что никак не отражено в «Альбоме»): а) как взаимоувязанное (желательно одновременное) решение традиционно благоустроительных работ (озеленение, мощение, малые архитектурные формы, средства визуальной информации и др.), т.е. предметно-материальная организация архитектурно-пространственной среды, воспринимаемой днём, с её световой организацией, создаваемой ночью осветительными установками, которые могут органично встраиваться в элементы материальной среды. Каждый «некапитальный» и «иной элемент благоустройства» (по терминологии «Альбома») **может быть светонесущим**, причём часть из них может питаться от солнечных батарей, как неупомянутые в пособии кассовые автоматы на автостоянках. Тогда сократится число примитивных фонарей, а вечерняя среда в пешеходных зонах приобретёт остро недостающее ей ситуационное образное своеобразие; б) как согласованное светокомпозиционное решение на основе светотехнических расчётов, учитывающее одновременное и управляемое действие всех осветительных установок, светящих в данное «обитаемое» пространство, в т.ч. с учётом разных программируемых режимов их функционирования вечером и ночью, в будни и праздники, в летний и зимний сезоны года (о зиме в «Альбоме» вообще нет речи, как будто мы живём на экваторе). В этом – главный потенциал экономии электроэнергии на освещение, улучшении экологии и эстетики искусственной световой среды города.

• По содержанию можно предположить, что «Альбом» разработан практиками с разным профессиональным опытом: некоторые разделы (озеленение, мощение) представлены в разнообразии и едва ли не в рабочих чертежах (хотя и они в плане нормативно-экологической оценки вызывают много вопросов), освещение – в незатейливо одинаковых, безразмерных и примитивных схемах уличных осветительных установок (при свете дня), в то время как в современном светодизайне ассор-

Рис. 1. Обложка «Альбома»

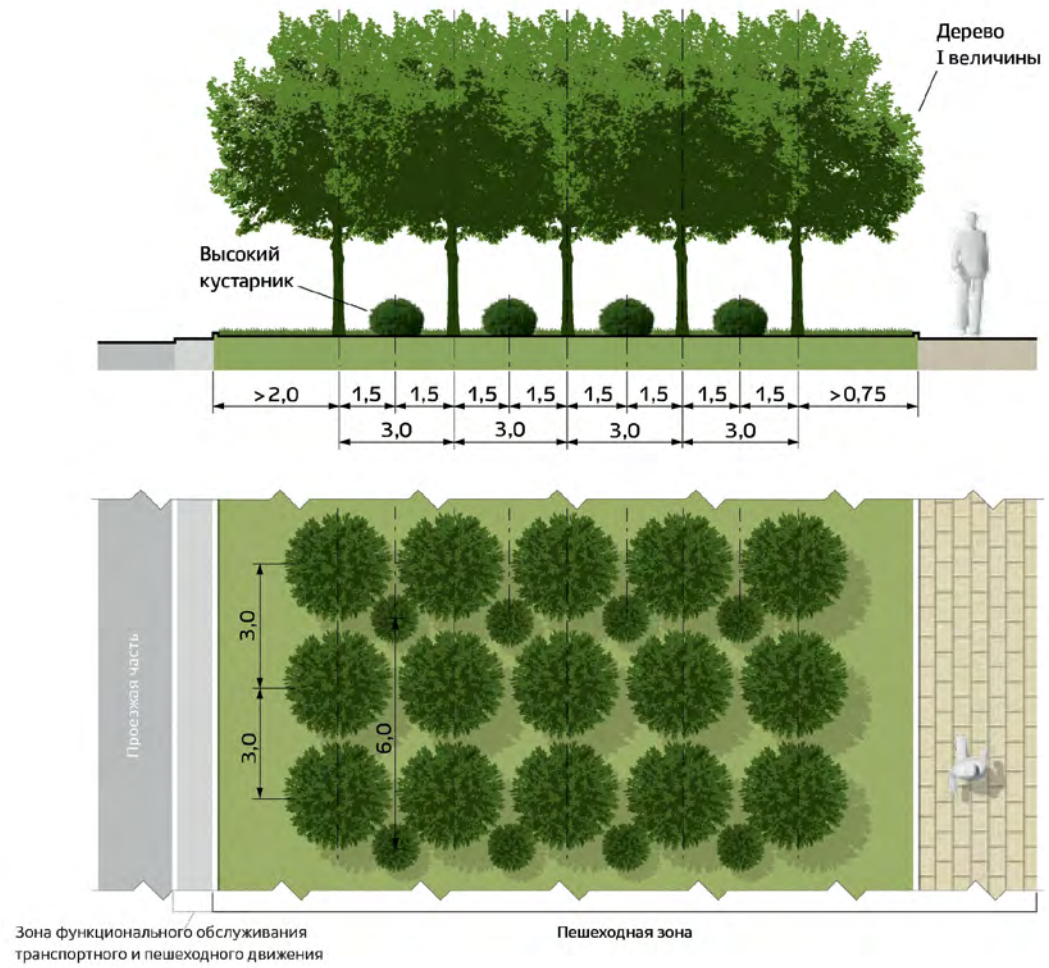


Рис. 2. Пример озеленения пешеходной зоны

тимент разностильных и разномасштабных (что очень важно для пешеходных зон) каталожных уличных светильников с разными источниками света и светораспределением (ограниченным и неограниченным, прямого, рассеянного и отражённого света) весьма мал. Из параметров света, определяющих визуальное качество вечерней среды города, упомянуты лишь нормируемые уровни освещённости, а спектр и кинетика освещения – мощные факторы светопространственного зонирования и создания образно-эмоциональной атмосферы – даже не упомянуты.

• Учитывая угадываемые в ближайшей перспективе результаты пользования «Альбомом» в московской непрозрачно-тендерной практике светодизайна (а на неё во многом, и к сожалению, ориентируются другие регионы России), можно посочувствовать столице в неоправданной консервации устаревших инженерно-утилитарных тенденций там, где могут и должны развиваться **современные концепции и художественные приёмы освещения**, в первую очередь, в пешеходных зонах. Здесь надо создавать **мир привлекательной, активной социальной жизни для разных групп населения** в вечернее, свободное от работы время. Это убедительно доказали фестивали света, хотя и другими, временными осветительными средствами. По пути эстетизации и социализации вечерней среды города идёт весь цивилизованный мир, не забывая при этом экономить электроэнергию и не «загрязнять» атмосферу светом. И эти тенденции или «тренды» было несложно отразить в графических схемах и комментариях к ним, как и, тем более, актуальную и далеко ещё не решённую идею комплексности проектирования освещения в гармонии с материально-пространственной основой среды.

Беда, наверное, – в той самонадеянности, которой обладают многие чиновные структуры: они сами всё знают, всё умеют. Поэтому «Альбом», очевидно, не дешёвый, не рецензирован, что не принято в науке и профессиональных изданиях. Хоть это и не научный, но по объёму весьма капитальный методический труд, в котором, как минимум, следует устранить неоднократные повторы, недействующие нормативные документы XX века, сомнительно-самодеятельные формулировки (есть же профессиональные терминологические словари, на худой конец, «Википедия»), уточнить неубедительный список справочных материалов и т.д. Например, чего стоит заключительная фраза «Введения»: «нормируемые показатели носят рекомендательный характер». Это как понимать?

Типовыми решениями считаются готовые, композиционно грамотные и экономически, экологически, технически рациональные решения, которые лишь «привязываются» к конкретной ситуации. Попробуйте «привязать» «рощицу» на с. 173 (рис. 2). Что из неё получится через 5–10 лет, когда деревья подрастут? Рисунок даже не совпадает с таблицами расстояний на с. 174. А нужно ли «привязывать» светильники-шарики (самый неэкологичный и неэффективный тип светильника) в пешеходных зонах, изображённые на с. 240–243 (рис. 3)? Большого ума не надо для таких безответственных «композиций», но бумаги и краски жалко. Похоже, материалы «Альбома» надёрганы из случайно подвернувшихся под руку источников.

Структурные подразделения Москомархитектуры, не ведущие научно-экспериментальных исследований и не имеющие достаточного количества «остепенённых» кадров, не любят привлекать их «со стороны», хотя в Москве институты и организации с научными кадрами и известными практикующими специалистами, в т.ч. в области городского освещения, имеются (ВНИСИ, НИИСФ, МЭИ, МАРХИ, «Светосервис» и др.).

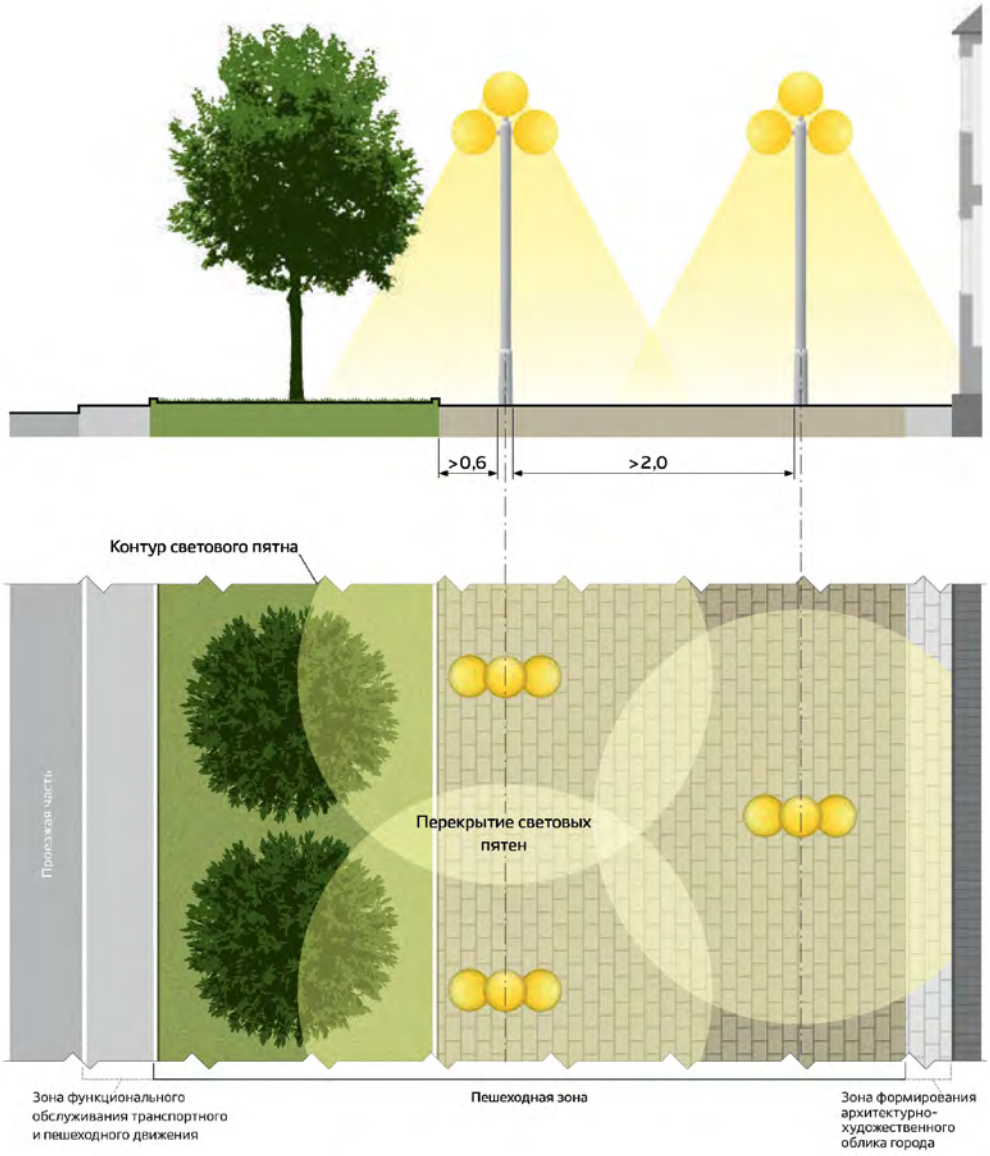


Рис. 3. Пример освещения пешеходной зоны

Например, ВНИСИ в 2014 г. разработал новый национальный стандарт по освещению загородных магистралей и прилегающих к ним территорий [2], типологически родственных рассматриваемым в «Альбоме», но его нет в справочных материалах. В 2011 г. НИИПИ экологии города разработал по заказу Москомархитектуры «Инструкцию по градостроительному проектированию благоустройства территорий города Москвы», где есть и раздел «Освещение», но заказчик не дал хода этой работе, решив, очевидно, изобрести в очередной раз свой «велосипед», даже если он с квадратными, но цветными колёсами. На страницах «Светотехники» регулярно рассматриваются вопросы по этой теме [3]. В КБ «Стрелка» в октябре 2015 г. состоялось обсуждение на «Круглом столе» на тему «Свет в городе: на пути к единой стратегии освещения» готовящегося по заказу правительства Москвы аналогичного пособия по освещению городских территорий. Приглашённые на обсуждение из ВНИСИ, МАРХИ и других компетентных организаций специалисты высказали много существенных замечаний авторам, не имеющим достаточного практического и научного опыта в этой области. Вряд ли подобное мероприятие было при подготовке рассматриваемого «Альбома» в Москомархитектуре.

Тема освещения не так проста, чтоб от неё «отделаться» примитивными схемами и фразами. Она давно уже не утилитарно-техническая. В её недрах скрыт особый, малоизученный, но реально уже существующий, весьма разноликий, бурно развивающийся и потенциально неисчерпаемый **эмоционально-образный мир**, о котором, очевидно, традиционно не подозревают авторы «Альбома». Они должны полюбить науку или хотя бы по-деловому поинтересоваться научными и творческими достижениями в этой области в России и за рубежом. Есть же профессиональные издания, диссертации, Интернет, наконец. Поэтому рекомендовать сей труд студентам специальных, в особенности архитектурно-дизайнерских, вузов по теме городского освещения – это значит тащить их в прошлое. Не зря же наши вузы, на манер западных, всё более вовлекаются в научные исследования в области инновационных технологий и перспективных концепций. А это и есть сфера светодизайна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбом типовых решений (стандартов) комплексного благоустройства территорий «вылетных» магистралей города Москвы. – М.: ГУП «Главное архитектурно-планировочное управление», Студия Артемия Лебедева, 2015. – 512 с.

2. Дороги автомобильные общего пользования. Освещение архитектурное и функционально-декоративное. Нормы и методы измерений. Предварительный национальный стандарт ПНСТ-28. – М.: Стандартинформ, 2015.

3. Статьи и дискуссии в журнале «Светотехника»: 2012. – № 6. – С. 49–60; Приложение 1. – 2014; 2015. – № 2. – С. 49–60 и др.

Щепетков Николай Иванович, *доктор архитектуры, профессор. Зав. кафедрой «Архитектурная физика» МАрхИ (ГА). Лауреат Государственной премии РФ (за архитектурное освещение Москвы). Член редколлегии журнала «Светотехника»*

Панель противопожарных устройств здания

1. В соответствии с требованием пункта 4.10 Свода правил СП 6.13130.2013 [1] в проекте электрооборудования каждого здания должна предусматриваться панель противопожарных устройств (ППУ).

2. Обращаю внимание на следующее. В отдельных проектах электрооборудования не обеспечивается противопожарная защита зданий, а именно:

– ППУ получает питание после вводных аппаратов главного распределительного щита (ГРЩ) здания и при необходимости отключения вводных аппаратов ГРЩ во время пожара отключаются также все электроприёмники системы противопожарной защиты (СПЗ) здания.

– От одного устройства автоматического включения резерва (АВР), устанавливаемого в ППУ или в ГРЩ здания, питаются электроприёмники СПЗ и остальные электроприёмники первой категории: пассажирские лифты. индивидуальный тепловой пункт (ИТП), телевидение и другие.

– Питание аварийного освещения вместо подключения к ППУ выполняется от ГРЩ здания.

– Отдельные эксперты требуют питать от ППУ насосную станцию противопожарного водопровода (пожарные насосы), остальные электроприемники СПЗ, по их мнению, не относятся к противопожарной защите здания и должны подключаться к ГРЩ.

3. Ниже в таблице для потребителей первой и второй категории надёжности электроснабжения:

– приведены требования к ППУ, в том числе к подключению линий питания ППУ к ГРЩ здания, установке устройства АВР для питания электроприёмников СПЗ и к питанию аварийного освещения здания,

– в ГРЩ предусмотрена установка отдельного устройства АВР для электроприемников первой категории, не относящихся к системе СПЗ здания.

№№	Требования к ППУ	Обоснование
1	Установку отдельной панели ППУ выполнить в электрощитовом помещении здания. Размеры ППУ могут быть аналогичны размерам ГРЩ. При необходимости количество ППУ следует увеличить. Фасад стального корпуса ППУ необходимо окрасить в красный цвет.	Обоснование окраски фасада панели ППУ: Свод Правил СП 6.13130.2013 [1], пункт 4.10
2	Питание ППУ предусмотреть от двух вводных панелей ГРЩ, получающих питание от разных трансформаторов двухтрансформаторной подстанции или от двух однотрансформаторных подстанций. Две кабельные линии питания ППУ подключить до отключающих аппаратов ГРЩ, установленных на вводных панелях. В задании на изготовление ГРЩ здания предусмотреть: – установку в вводных панелях двух шинных мостов, к которым подключаются наружные питающие кабели и линии питания ППУ, – присоединение шинных мостов к отключающим аппаратам ГРЩ.	Обоснование: ГОСТ Р 50571.5.56–2013 / МЭК 60364–5–56:2009 [2]. Пункт 560.10 Требования к противопожарным системам. Пункт 560.10.2 Ответственные цепи должны быть непосредственно присоединены на стороне питания разъединителя главного распределительного щита. Отмечается, что при необходимости отключении ГРЩ во время пожара сохраняется питание системы противопожарной защиты здания.
3	На вводе в ППУ предусмотреть устройство АВР-1. В панели ППУ, устанавливаемой в электрощитовых высотных зданий, зрелищных предприятий, аэропортов, вокзалов, гипермаркетов и других многофункциональных зданий целесообразно дополнительно устанавливать АВР-2 для аварийного освещения, а остальные электроприемники СПЗ питать от АВР-1. В задании на изготовление панели ППУ предусмотреть перегородку, разделяющую два кабельных ввода от ГРЩ здания.	– Обоснование применения АВР-1: Свод Правил СП 6.13130.2013 [1], пункт 4.10. – Обоснование применения на вводах в ППУ разделительной перегородки: ГОСТ 32396–2013 [3], пункт 6.2.10.
4	Питание всех электроприемников СПЗ здания, в том числе аварийного освещения и системы дымоудаления, выполнить от ППУ. Отмечается, что название «Панель противопожарных устройств», указанное в Своде правил СП 6.13130.2013, определяет электроприёмники, которые необходимо подключать к этой панели.	– Обоснование питания электроприёмников СПЗ от ППУ: Свод правил СП 6.13130.2013 [1], пункт 4.10. – Обоснование питания аварийного освещения от ППУ: 1. ГОСТ Р 50571.5.56–2013 / МЭК 60364–5–56:2009 [2]. Пункт 560.3.1 Примечание 2 – Примеры систем безопасности: – аварийное освещение, – пожарные насосы, – лифты для пожарных расчётов,

№№	Требования к ППУ	Обоснование
4	Требования технического регламента являются обязательными в соответствии со статьёй 2 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ [6]	– системы сигнализации, такие как пожарная тревога, аварийная сигнализация СО, аварийные сигналы от проникновения, – системы эвакуации, – системы дымоудаления, – ответственные медицинские системы. В соответствии с примечанием 2 к пункту 560.3.1 аварийное освещение, наряду с системами противопожарной защиты здания, относится к системе безопасности. 2. Свод правил СП 3.13130.2009 [4]. В соответствии с разделом 5 Свода правил СП 3.13130.2009 эвакуационное освещение относится к системе противопожарной защиты зданий. 3. Письмо ФГБУ ВНИИПО МЧС России от 5.02.2015 № 431эп-13–3–2. В тексте письма отмечается. что «по мнению специалистов института, эвакуационное освещение входит в систему противопожарной защиты зданий». – Обоснование питания электроприёмников системы дымоудаления от ППУ: 1. Свод правил СП 6.13130.2013 [1], пункт 4.10. 2. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ» [5] Статья 56, пункт 1: Система противодымной защиты здания, сооружения должна обеспечивать защиту людей на путях эвакуации и в безопасных зонах от воздействия опасных факторов пожара в течение времени, необходимого для эвакуации людей в безопасную зону, или всего времени развития и тушения пожара посредством удаления продуктов горения и термического разложения и (или) предотвращения их распространения.
5	Выполнить раздельный учёт электроэнергии: – для постоянно работающих электроприемников СПЗ: пожарная сигнализация, охранная сигнализация, диспетчеризация, аварийное освещение, система автоматизации KNX здания, система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, пожарные посты, а также лифты пожарных подразделений, в отсутствие пожара функционирующие для транспортировки пассажиров, – для электроприемников СПЗ, работающих только во время пожара: системы дымоудаления (противодымная вентиляция), насосная станция противопожарного водопровода, система автоматического пожаротушения, другие электроприёмники.	Обоснование: Электросбытовые организации требуют предусматривать отдельный учёт электроэнергии для электроприёмников СПЗ, работающих только во время пожара.
6	– ГОСТ Р 53296–2009 [7], пункт 6.8: В общественных зданиях высотой более 50 м от уровня подъезда пожарных машин до низа оконных проёмов верхнего этажа (не считая верхних технических этажей) энергоснабжение лифтов для пожарных производится как для особой группы электроприёмников первой категории. – Свод Правил СП 54.13330.2011 [8], пункт 7.4.6: В жилых зданиях (в секционных – в каждой секции) высотой более 50 м один из лифтов должен обеспечивать транспортирование пожарных подразделений и соответствовать требованиям ГОСТ Р 53296–2009.	Обоснование: ГОСТ Р 53296–2009 [7] и Свод правил СП 54.13330.2011 [8]. В общественных и жилых зданиях высотой более 50 м в схеме ППУ для лифтов, транспортирующих пожарные подразделения, необходимо обеспечить питание от третьего автономного источника – дизель-генераторной установки.

№№	Требования к ППУ	Обоснование
7	Питание электроприёмников первой категории: пассажирские лифты, индивидуальный тепловой пункт, телевидение и другие предусмотреть от отдельного устройства АВР, установленного в ГРЩ здания.	Обоснование: Подключение устройства АВР к ГРЩ выполнить в соответствии с пунктом 7.10 Свода правил СП 31–110–2003 электроустановок жилых и [9].

4. Указанные в таблице требования относятся также к вводно-распределительным устройствам (ВРУ) зданий.

5. Для потребителей третьей категории надёжности, электроснабжение которых осуществляется по одному вводу:

– подключение ППУ выполнить до отключающего аппарата, устанавливаемого на вводе в электроустановку,

– резервирование питания от аккумуляторов – пожарной и охранной сигнализации, аварийного освещения – решается в проекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил СП 6.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности». – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013.

2. ГОСТ Р 50571.5.56–2013/МЭК 60364–5–56:2009 «Электроустановки низковольтные. Часть 5–56. Выбор и монтаж электрооборудования. Системы обеспечения безопасности». . – М.: Стандартинформ, 2014.

3. ГОСТ 32396–2013 «Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия». – М.: Стандартинформ, 2014.

4. Свод правил СП 3.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности». – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

5. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ.

6. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 года № 184-ФЗ.

7. ГОСТ Р 53296–2009 «Установка лифтов для пожарных в зданиях и сооружениях. Требования пожарной безопасности».

8. Свод правил СП 54.13330.2011 «Здания жилые многоквартирные» – М.: Стандартинформ, 2011.

9. Свод правил СП 31–110–2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». – М.: ФГУП ЦПП, 2004.

Р.И. Пашковский,
инженер-проектировщик,
корреспондент журнала
«Светотехника» в Санкт-Петербурге

Регистрация новой торговой марки *Wunschleuchten*

В ноябре 2015 г. холдинг БЛ ГРУПП представил широкой общественности свою новую торговую марку *BOOS*, под которой зарубежное представительство – компания *BL Group Europe GmbH* – теперь выпускает высококачественную светотехническую продукцию для самых разных задач.

Через полгода, в апреле 2016 г., в реестре Ведомства Европейского союза по интеллектуальной собственности (*European Union Intellectual Property Office*) появилась новая марка холдинга – *Wunschleuchten*.

Название марки – это название светотехнического завода в Германии (Карлсдорф-Нойтард, земля Баден-Вюртемберг), вошедшего в состав холдинга в 2014 г.

Изначально название предприятия, как было принято в европейском семейном бизнесе, отсылало к фамилии основателя, Хайнцу Вюншу (*Heinz Wünsch*). Впоследствии «ю» трансформировалось в «у», а к фамилии добавилось слово «*Leuchten*», и итоговый вариант стал переводиться как «светильники на любой вкус». Напомним, что Ведомство (ранее – Ведомство по гармонизации внутреннего рынка) располагается в Испании, в г. Аликанте, и регулирует все процессы, связанные с торговыми марками на территории Евросоюза.

EUIPO
EUROPEAN UNION INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

Registered / Enregistré 13/04/2016

No 014842322

EUROPEAN UNION INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
CERTIFICATE OF REGISTRATION

This Certificate of Registration is hereby issued for the European Union trade mark identified below. The corresponding entries have been recorded in the Register of European Union trade marks.

OFFICE DE L'UNION EUROPÉENNE POUR LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE
CERTIFICAT D'ENREGISTREMENT

Le présent Certificat d'Enregistrement est délivré pour la marque de l'Union européenne identifiée ci-joint. Les mentions et les renseignements qui s'y rapportent ont été inscrits au Registre des Marques de l'Union Européenne.

WUNSCH LEUCHTEN

The Executive Director / Le Directeur exécutif

António Campinos

www.euipo.europa.eu

International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

4th CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance

September 6 - 7, 2016, Prague, Czech Republic and

CIE Tutorial on Visual Appearance Fundamentals and Measurement

September 5, 2016, Prague, Czech Republic

4-й Симпозиум МКО по цветовому и визуальному восприятию облика.
Пройдёт с 6 по 7 сентября 2016 г., в Праге, Чехия.

Курс обучения МКО по зрительному восприятию облика,
основным принципам и методам измерений
состоится **5 сентября 2016 г.**

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

VS LIGHTING SOLUTIONS

enercom СОЗДАЕМ ВОЗМОЖНОСТИ

PHAROS-ALEF

ГЛОБАЛ ЛАЙТИНГ

ЗОЛОТЫЕ

FAGERHULT

ГСТЗ г. Гагарин

ZUMTOBEL

СЕРЕБРЯНЫЕ

Светотехнический завод ВЛАДАСВЕТ

ВНИСИ

НИИ

БРОНЗОВЫЕ

ВНИИОФИ

TS TENZOSENSOR

СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ

ЦФ

СОЛАР МАГИЧЕСКИЙ СВЕТ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-42849 от 01 декабря 2010 г., выданное Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Тираж 1200. Цена свободная.

Light in Night Road

Профессиональная программа для проектирования дорожного освещения

БЕЗОПАСНОСТЬ НА ДОРОГАХ ТРЕБУЕТ СОБЛЮДЕНИЯ НОРМ ОСВЕЩЕНИЯ.

Это – не реклама, это – жизненная необходимость!
Для обустройства дорожного освещения необходимо выполнить светотехнический расчет для проверки выполнения норм.
Для этого используют компьютерные программы.

СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Добровольная сертификация

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.СП15.Н00837
Срок действия с 03.06.2015 по 02.06.2017
№ 0896404

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ РОСС RU.0001.11СП15

ООО ЦСПС. Орган по сертификации программной продукции в строительстве 125057 г.Москва, Ленинградский просп., д.63, тел./факс (499) 157-1990, 157-4671

ПРОДУКЦИЯ Программа "Light-in-Night Road" для проектирования освещения дорог и улиц

код ОК 005 (ОКП): 50 4310

программные средства для автоматизации проектных и расчетных работ, серийный выпуск

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ
СП 52.13330.2011 (СНиП 23-05-95*), ГОСТ Р 55706-2013, ГОСТ Р 55708-2013, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03, ГОСТ Р ИСО 9127-94, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000

код ТН ВЭД России:

ИЗГОТОВИТЕЛЬ ЗАО НПСП "СВЕТОСЕРВИС"
ИНН 7713100900, Россия, 129626, г. Москва, 1-й Рижский пер., д. 6, тел. (495) 785-20-95, факс (495) 785-20-96

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН
ЗАО НПСП "СВЕТОСЕРВИС", Россия, 129626, г. Москва, 1-й Рижский пер., д. 6, тел. (495) 785-20-95, факс (495) 785-20-96

НА ОСНОВАНИИ
Заключения ООО ЦСПС от 03 июня 2015 г. на 2-х стр.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ Схема сертификации 3

Руководитель органа — подпись — С.Д.Ратнер (инициалы, фамилия)
Эксперт — подпись — Т.Н.Бубнова (инициалы, фамилия)

Сертификат не применяется при обязательной сертификации

Почему Light-in-Night Road?

Это единственная светотехническая программа, официально сертифицированная на соответствие требованиям российских норм освещения дорог и стандартным дорожным покрытиям. Сертификат № РОСС RU.0001.11СП15.

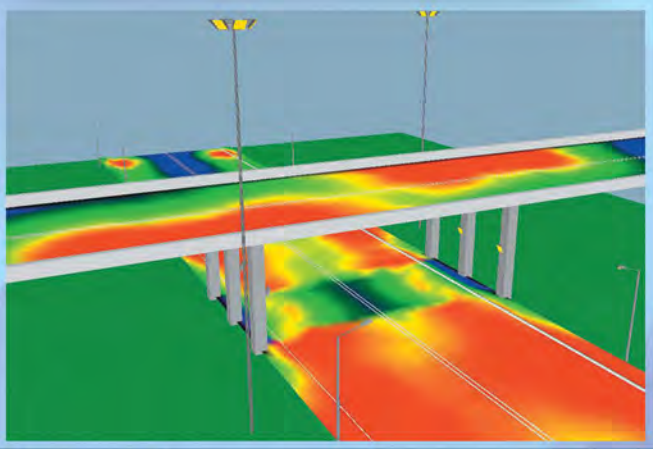
Область применения программы включает все виды дорожной инфраструктуры: улицы, дороги, транспортные развязки, пешеходные пространства и многое другое.

База светильников Light-in-Night Road открыта для всех производителей. Достоверность исходных данных светильников подтверждена испытаниями, проведенными в независимой лаборатории.

Light-in-Night Road эксплуатируется в России и странах СНГ с 2003 года. Имеет более 15 000 пользователей. Распространяется свободно и бесплатно с сайта программы:

www.l-i-n.ru

Использование программы Light-in-Night Road – уверенность в качестве проектирования освещения федеральных автомобильных дорог!



BL Group

ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП»
129626, Россия, город Москва,
1-й Рижский пер., дом 6
Тел.: +7 (495) 780-61-57

Программа распространяется бесплатно
Загрузите версию продукта на www.l-i-n.ru

© 2015 Light-in-Night Road
Все права защищены

LIGHTING SOLUTIONS

"Smart Lighting" – Разумный свет – в любое время

Офисный торшер начинает светить ярче, если кто-то проходит мимо или в выставочном зале музея, после того, как Вы вошли, начинается, как по мановению волшебной палочки, показ видео и создается соответствующая световая атмосфера. Разумное освещение (smart lighting) обеспечит тот вид освещения, который необходим в данный момент.

Наши продукты smart делают освещение более интеллектуальным, раскрывая новые возможности света. Например, Dim ONE. В исполнении SMART - это стильный диммер с множеством сценариев освещения, которым, используя планшет или смартфон посредством Bluetooth, очень легко управлять. А производители светильников могут добиться более изысканное освещения с помощью беспроводных контроллеров серии XSW.

Dim ONE

- ЭЛЕГАНТНЫЙ ДИММЕР ДЛЯ ГАЛОГЕННЫХ ЛАМП И СИД
- РЕГУЛИРУЕТСЯ МИН. УРОВЕНЬ ОСВЕЩЕННОСТИ, ЧТОБЫ ИЗБЕЖАТЬ МИГАНИЯ; ДИММИРОВАНИЕ ОТСЕЧКОЙ ПО ЗАДНЕМУ ФРОНТУ ВОЛНЫ
- ДИАПАЗОН ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ: 3 ДО 450 Вт

Dim ONE Bluetooth SMART

- ВЫБОР СВЕТОВЫХ СЦЕН
- ПРИГОДЕН ДЛЯ ГАЛОГЕННЫХ ЛАМП И СИД, УПРАВЛЕНИЕ ЧЕРЕЗ BLUETOOTH
- РЕГУЛИРУЕТСЯ МИН. УРОВЕНЬ ОСВЕЩЕННОСТИ, ЧТОБЫ ИЗБЕЖАТЬ МИГАНИЯ; ДИММИРОВАНИЕ ОТСЕЧКОЙ ПО ЗАДНЕМУ ФРОНТУ ВОЛНЫ
- ДИАПАЗОН ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ: 3 ДО 450 Вт

XSW Router

- ENOCEAN DALI РОУТЕР (ТРАНСЛЯЦИЯ)
- ВСТРОЕННОЕ ПИТАНИЕ ТОКОМ ШИНЫ DALI (20мА)
- НЕ НУЖНО ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Light Controller XSW Smart

- ENOCEAN DALI УПРАВЛЕНИЕ
- ОБСЛУЖИВАЕТ ДО 10 DALI СВЕТИЛЬНИКОВ, ВКЛЮЧАЯ ДАТЧИКИ
- ПРОСТАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СВЕТИЛЬНИКОВ И ИХ ГРУПП
- МОЖНО ПОДКЛЮЧАТЬ ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ОСВЕЩЕННОСТИ ENOCEAN

www.vossloh-schwabe.com

A member of the Panasonic group Panasonic