

# СВЕТО ТЕХНИКА 2·2018







Международная  
светотехническая  
корпорация

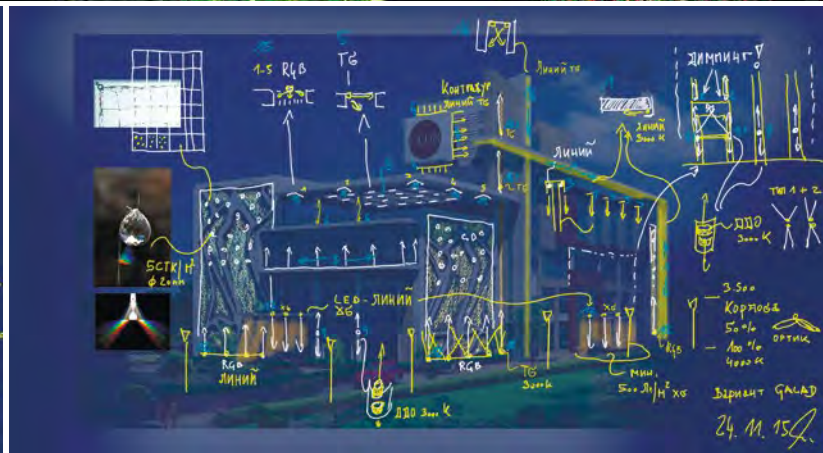
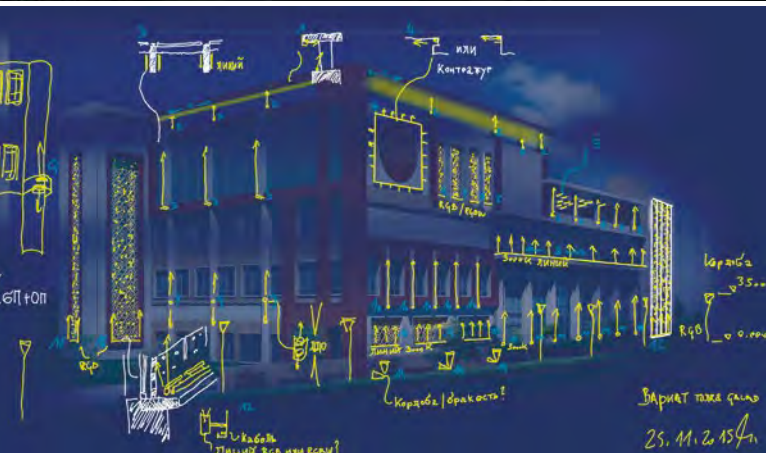
Применение европейских норм в свете

Светлые идеи для ваших улиц

Проектируем с качеством мирового уровня

Найдем решение для любого бюджета

# СВЕТ начинается с идеи



## СветоПроект

г. Москва,  
1-й Рижский пер., д.6

[www.svetoservis.ru](http://www.svetoservis.ru)

+7 (495) 785-20-95

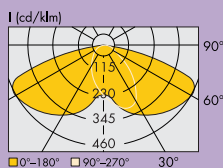
# СИЛИКОНОВАЯ ОПТИКА ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ СОВ МОДУЛЕЙ СЕРИИ «LUGA C»

ИДЕАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ АВТОСТРАД, УЛИЦ, ДВОРОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ, ТЕПЛИЦ

## Силиконовая оптика М-класса

Эффективность оптики: 93,6%

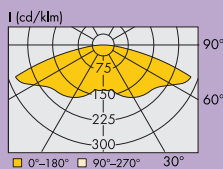
№ заказа: 559042



## Силиконовая оптика «Агеа»

Эффективность оптики: 96%

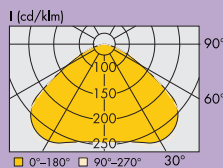
№ заказа: 562512



## Силиконовая оптика «SYM II»

Эффективность оптики: 97%

№ заказа: 562513



## Держатель оптики

Материал: поликарбонат, чёрный

№ заказа: 558607



## Силиконовая оптика, специально разработанная для светодиодных COB модулей серии LUGA C, обладает целым рядом преимуществ:

- Стойкость к образованию микротрещин;
- Сохранение эластичности при низких температурах;
- Отсутствие двойного лучепреломления;
- Превосходное светопропускание, требуемое распределение света сохраняется независимо от условий окружающей среды;
- Высокая термостойкость при температурах от -45 до 200°C;
- Не требует дополнительной защиты от механических воздействий и влияния окружающей среды;
- Стойкость к УФ излучению, отсутствует эффект пожелтения;
- Степень защиты от механических воздействий: IK08;
- Обеспечение полной герметичности сборки COB модуля и оптики.
- Степень защиты сборки: IP65.

## Встраиваемые светодиодные COB модули серии LUGA C, предназначенные для использования в наружном и промышленном освещении.

- Световой поток, в зависимости от типа модуля: от 3000 до 15000 лм.
- Коррелированная цветовая температура  $T_{кц}$ : 2700, 3000, 3500, 4000, 5000 К.
- Индекс цветопередачи  $R_a$ , в зависимости от типа модуля: от 70 до 85.
- Производятся версии светодиодных модулей со специальными спектрами и значениями  $T_{кц}$  для освещения, например, теплиц.
- Допустимая рабочая температура в контрольной точке ( $t_c$ ): не более 110°C (1050 мА).
- Срок службы: до 100000 ч (L80/B10).
- Световая отдача: до 190 лм/Вт (700 мА,  $T_{кц} = 5000$  К).
- Требуется внешний блок питания со стабилизацией тока. COB модуль устанавливается с помощью держателя на теплопроводную прокладку.



Компоненты от Vossloh-Schwabe для осветительных устройств на выгодных условиях.





АО «Кадошкинский электротехнический завод»



Освещение школ и вузов – это ответственно!

## СВЕТИЛЬНИК СО СВЕТОДИОДАМИ GALAD ЮНИОР LED

- Создает максимально равномерное освещение на всех поверхностях, не слепит и не портит зрение
- Обеспечивает требуемую освещенность на рабочей поверхности
- Соответствует требованиям, предъявляемым к светильникам для детских учреждений (ГОСТ-Р-54350-2015)

Освещение образовательных учреждений:

Школы, детские сады, высшие учебные заведения.

IP20



50 000

ГАРАНТИЯ



LED



35 Вт



АО «КЭТЗ», п. Кадошкино,  
Респ. Мордовия, ул.  
Заводская, 1.



[www.galad.ru](http://www.galad.ru)



(83448) 2-31-21





**В.П. Будак**  
д.т.н., профессор  
BudakVP@gmail.com

## Уважаемые читатели!

В марте этого года я в первый раз принял участие в *Messe Frankfurt (MF) «Light + Building 2018»*. Естественно, во многом в голове было сравнение с ещё не ушедшими впечатлениями от *Interlight 2017* в Москве, некоторые итоги которой были подведены в колонке редактора в № 6 за 2018. Конечно, *MF* больше, мощнее, но московская выставка моложе, и хочется верить, что у неё всё только впереди! Какие первые впечатления от увиденного? Прежде всего, подтверждается вывод, сделанный ещё в Москве: революция в области светодиодов завершена. Наверное, ещё возможны улучшения, даже в чём-то радикальные, но принципиально все проблемы решены. Нельзя не отметить, что центр тяжести развития смещается в сторону дизайна световых приборов. Очень интересны увиденные попытки принципиально нового, футуристического дизайна. Например, на стенде фирмы «*PRACHT*» провозглашён девиз – «Авакадо» – и все светильники выполнены в интересном сочетании удачно подобранных оттенков чёрного и зелёного.

Вот это смещение светотехники в сторону светодизайна является одним из символов нового времени. Как всегда, новое рождается не без проблем и противоречий. Часто мы видим дизайн, который вытесняет свет, а будущее светодизайна рисуется в соединении, сочетании светотехники и дизайна: реальное восприятие освещаемого объекта будет определяться не столько его картинкой, но яркостью и цветом адаптации, яркостью и цветом окружающего поля. Мы планируем открыть в ближайшем номере рубрику светодизайна для обсуждения этой важной проблемы.

Наверное, второй отличительной особенностью *MF* по праву можно считать *Smart* – интеллектуальные системы. На сегодняшний день светотехническая установка включает себя датчики, регистрирующие изменения освещаемого объекта и автоматизированную систему управления светильниками, благо светодиоды позволяют плавно изменять любую свою светотехническую характеристику. Представляется, что это – долговременная перспектива развития, характеризующая направление «фотоника», сращивание светотехники с фотоникой. Несомненно, это лишь самые яркие искры впечатлений от *MF*, а разговор о ней мы продолжим подробнее в № 3.

Хотелось бы обратить внимание на ряд важнейших публикаций в настоящем номере. Прежде всего, это пять статей по материалам докладов на конгрессе «*Lux Europa 2017*» (Любляна, Словения), отобранных главой оргкомитета проф. д.т.н. Грегой Бизяком (*Grega Bizjak*) и переработанных в виде статей авторами докладов. Здесь рассмотрены актуальные вопросы оценки освещения целого города, особенности зрительного восприятия освещения объектов, освещение и яркость дорожного покрытия. Хочется верить, что эти публикации смогут восполнить информацию о важной конференции тем, кто не смог на ней побывать.

Среди регулярных статей номера отмечу пронзительную публикацию Д.А. Мельникова «О школьном освещении», где убедительно доказывается, что в подавляющем большинстве российских школ освещение не соответствует нормам, и света не хватает везде. Очевидно, что такая ситуация с освещением в школах может поставить под сомнение и всю программу развития России.

Отметим и небольшую заметку об Евразийской светотехнической премии «Золотой фотон», которая стала главной наградой в светотехнической отрасли, призванной поощрять достижения компаний в разработке уникальной продукции, в реализации значимых проектов.



## УЧРЕДИТЕЛИ:

- Академия электротехнических наук РФ
- Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ)
- Национальный исследовательский университет «МЭИ»

## Шеф-редактор

**Ю.Б. Айзенберг**, д.т.н., проф., академик  
АЭН РФ

## Главный редактор

**В.П. Будак**, д.т.н., проф.;

BudakVP@gmail.com

Зам. главного редактора и научный

редактор англоязычной версии

**Р.И. Столяревская**, д.т.н.;

lights-nr@inbox.ru

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Г.В. Боос**, председатель редакционной  
коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва

**С.Г. Ашурков**, к.т.н., Москва

**Л. Бедокс** (*Lou Bedocs*), Thorn Lighting  
Limited, Великобритания

**Т. Берген** (*Tony Bergen*), Технический  
директор *Photometric Solutions*

*International*, Австралия

**Л. Билунд** (*Lars Bylund*), *Bergen's School*  
*of architecture*, Норвегия

**П.Р. Бойс** (*Peter R. Boyce*), *Lighting*  
*Research Center*, США

**В. ван Боммель** (*Wout van Bommel*),  
*Philips Lighting*, Нидерланды

**А.А. Богданов**, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО  
Светодиодные Системы», С.-Петербург

**Н.В. Быстрянцева**, к. арх., Университет  
ИТМО, С.-Петербург

**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва

**Н. Василев** (*Nicolay Vasilev*), *Sofia*  
*Technical University*, Болгария

**Д. Вейтч** (*Jennifer Veitch*), *National*  
*Research Council of Canada*, Канада

**А.А. Григорьев**, д.т.н., НИУ «МЭИ»,  
Москва

**С. Дарула** (*Stanislav Darula*), *Academy*  
*Institute of Construction and Architecture*,  
Словакия

**П. Дехофф** (*Peter Dehoff*), *Zumtobel*  
*Lighting*, Австрия

**У. Джулиан** (*Warren G. Julian*), *University*  
*of Sydney*, Австралия

**О.Е. Железникова**, к.т.н., МГУ им.

Н.П. Огарёва, Саранск

**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН,

Москва

**А.А. Коробко** к.т.н., БЛ Групп, Москва

**Э. Миллс** (*Evan Mills*), *Lawrence Berkeley*  
*Laboratory*, США

**Л.Г. Новаковский**, к.т.н., ООО «Фарос-  
Алеф»

**Й. Оно** (*Yoshi Ohno*), *NIST Fellow*,

(Президент МКО в 2015–2019 гг.), США

**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

**Л.Р. Ронки** (*Lucia R. Ronchi*), *Higher*  
*School of Specialization for Optics*,

*University of Florence*, Италия

**А.К. Соловьёв**, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ»,  
Москва

**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ,  
С.-Петербург

**Ф. Хенгстбергер** (*Franz Hengstberger*),  
*National Metrology Institute*, ЮАР

**А.Г. Шахпарунианц**, к.т.н., генеральный  
директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова,  
Москва

**Н.И. Щепетков**, д. арх., проф., МАРХИ  
(ГА), Москва

## РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор

**Н.С. Шерри**; sherri@bl-g.ru

Старший научный редактор

**Е.И. Розовский**; lamptech@mail.ru

## Научный редактор

**С.Г. Ашурков**; svetlo-nr@yandex.ru

Выпускающий редактор

**П.А. Федорищев**; fedorishchev@gmail.com

Зав. редакцией

**Л.В. Шелатуркина**; zav.red@list.ru

Менеджер-референт

**М.И. Титаренко**; zav.red@list.ru

Стилист английской версии

**М.Д. Виноградова**

Секретарь редакции

**А.В. Лукина**; journal.svetotekhnika@mail.ru

Дизайнер-верстальщик

**А.М. Богданов**

Контент-менеджер

**Е.С. Серый**

КОРРЕСПОНДЕНТЫ ЖУРНАЛА  
В ДРУГИХ СТРАНАХ

## Аргентина

Пабло Икстайна (*Pablo R. Ixtaina*),

Национальный технологический  
университет Ла-Платы;

## Франция

Георг Циссис (*Georges Zissis*),  
университет Тулузы;

## Индия

Сасвати Мазумдар (*Saswati Mazumdar*),  
университет Джадавпур;

## Словения

Грега Бизяк (*Grega Bizjak*), Люблянский  
университет;

## Турция

– Тугсе Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*),  
Измирский технологический институт;

– Эрдал Шехирли (*Erdal Sehirli*),  
университет Кастамону;

– Ренгин Юнвер (*Rengin Unver*),  
Технический университет Йылдыз  
(Стамбул)

## АДРЕС РЕДАКЦИИ

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

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 12.03.18. Подписано в печать 04.04.18

Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Группа Компаний Море»

101898, Москва, Хохловский пер., д. 9



# СОДЕРЖАНИЕ 2·2018

В НОМЕРЕ

МАРТ • АПРЕЛЬ

<b>Бизнес и инновации</b> ..... 21, 45, 51, 55, 61, 69, 77, 86, 91, 95	<b>Соловьёв А.К.</b> Естественное освещение подземных пространств ..... 70
<b>Колонка</b> главного редактора ..... 3	<b>Попов О.А., Старшинов П.В., Васина В.Н.</b> Бесферритная индукционная люминесцентная лампа с замкнутой разрядной трубкой ..... 75
<b>Амелькина С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В.</b> Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе ..... 6	<b>Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В.</b> Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: качество и технико-экономическое обоснование применения ..... 78
<b>Степанов В.Н.</b> Проектирование и качество спортивного освещения ..... 11	<b>Шампаров Е.Ю., Жагрина И.Н., Родэ С.В.</b> Лучистая теплопроводность в лёгких утепляющих материалах ..... 84
<b>Мельников Д.А.</b> О школьном освещении ..... 15	<b>РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС</b>
<b>Назаров Ю.В., Попова В.В.</b> Светодизайн и текстиль ..... 18	<b>Снетков В.Ю.</b> Очередное заседание бюро НТС «Светотехника» ..... 74
<b>Луусуа А., Пихладжаними Х., Юнтунен Е.</b> Проект <i>SenCity</i> : оценка восприятия интеллектуального освещения жителями «умных» городов ..... 22	<b>СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>
<b>Брожио К., Вёлкер С., Кнооп М., Нидлинг М.</b> О влиянии различных зон поля зрения на не связанное с формированием изображения воздействие света ..... 28	<b>Пашковский Р.И.</b> Освещение палат медицинских организаций ..... 87
<b>Шеир Г.Х., Ханселаер П., Рикарт В.Р.А.</b> Использование рецептивного поля и реакции зрачка на свет для оценки зрительного дискомфорта ..... 33	<b>ХРОНИКА</b>
<b>Биске К., Хартвиг У., Ширц К., Вильм А., Хорст К.</b> <i>TM-30-15</i> и общий индекс цветопередачи МКО $R_a$ : исследование цветопередачи белых СД с люминофором ..... 40	<b>Серый Е.С.</b> «Золотой фотон»: лучшее в индустрии ..... 92
<b>В. Мюзе, Ж. Абдо</b> Измерение на месте фотометрических характеристик бетонного дорожного покрытия прибором <i>COLUROUTE</i> ..... 46	<b>Куц О.К.</b> Воспоминания (к 100-летию со дня рождения профессора В.В. Трембача) ..... 94
<b>Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Клевец К.Н.</b> Учёт климатических особенностей при проектировании солнцезащитных устройств ..... 52	<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>
<b>Богданов Н.Н., Жданов А.Д., Жданов Д.Д., Потёмин И.С.</b> Анализ ошибок рельефа рассеивающих микроструктур в моделировании светопроводящих систем ..... 56	<b>Силиконовая</b> оптика для светодиодных модулей «LUGA C» ..... 1
<b>Чжан Л., Ли Б., Чжан Х., Кан И., Чжань В., И В., Чэнь Ч.</b> Сравнение двух методов реконструкции спектрального распределения коэффициента отражения ..... 62	<b>Светильник</b> со светодиодами <i>GALAD UNIOR LED</i> ..... 2
	<b>Тепличное</b> освещение. Готовые комплексные решения ..... 38
	<b>Один из павильонов</b> выставки <i>Light + Building 2018</i> (Фото: <i>Messe Frankfurt</i> ) ..... 1 с. обл.
	<b>МСК «БЛ ГРУПП».</b> Свет начинается с идеи ..... 2 с. обл.
	<b>Opora Engineering:</b> качество, надёжность, оперативность ..... 3 с. обл.
	<b>Светодиодные</b> модули «LUGA Line High Brightness» ..... 4 с. обл.



# Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе

С.А. АМЕЛЬКИНА, О.Е. ЖЕЛЕЗНИКОВА, Л.В. СИНИЦЫНА

МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск  
E-mail: sarstf@mail.ru

## Аннотация

Экспериментально установлено, что освещение светодиодами не вызывает негативного воздействия на орган зрения и организм человека в целом. Показано, что происходящие при выполнении зрительных работ изменения функциональных показателей органа зрения входят в соответствующие границы физиологических колебаний и имеют обратимый характер. Оценены интегральные показатели эффективности освещения светодиодами по зрительной работоспособности и степени зрительного утомления. Показана практическая значимость полученных результатов.

**Ключевые слова:** освещение светодиодами, комплексная методика, экспериментальная исследовательская установка, зрительные функции, зрительное утомление, зрительная работоспособность, эффективность освещения.

Светодиоды (СД) расширили технические возможности создания ОУ с существенно улучшенными энергетическими и эксплуатационными характеристиками. В современной нормативной документации по освещению СД рассматриваются как рекомендуемые к применению в производственных помещениях, общественных зданиях и общедомовых помещениях жилых зданий. При этом возрастает интерес и к медико-биологическим аспектам новых светодиодных технологий [1]. Возможность использования СД для создания благоприятных условий освещения требует весомых доказательств, которые могут быть получены лишь всесторонними исследованиями влияния освещения СД (ОСД) на орган зрения и организм в целом. При этом существенны вопросы как непосредственной опасности поражения органов зрения излучением СД, так и возможных последствий длительного действия ОСД на психофизиологическое и физическое здоровье людей.

Цель данной работы – оценка влияния ОСД на орган зрения и показатели эффективности зрительной работы.

Важным этапом в достижении цели явилось создание экспериментальной исследовательской установки общего освещения (ЭИУ), в лаборатории № 316 Института электроники и светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва. Лаборатория включает четыре помещения: одно (с коэффициентами отражения потолка, стен и пола 0,7, 0,5 и 0,3) – для обследования наблюдателей и три – для экспериментальных исследований (в двух из них смонтированы ОУ с СД, а третьем – ОУ с ЛЛ) (рис. 1). При сравнении вариантов освещения в качестве базовой использовалась ОУ с ЛЛ<sup>1</sup>.

Для ЭИУ, в соответствии с требованиями [2], были выбраны светильники с СД *Cap Flat 66–16*<sup>2</sup> и ДВО 12–38–001 *Prizma*<sup>3</sup> и светильники с ЛЛ ЛВО 04–4×14–041 *PRS*, 3. Значения коррелированной цветовой температуры светильников  $T_{\text{кц}} = 3000, 4000$  и  $5000$  К. В Центре коллективного пользования «Светотехническая метрология»

МГУ им. Н.П. Огарева были измерены фотометрические и спектроколориметрические параметры отобранных светильников. На рис. 2–5 приведены спектры их излучения, кривые силы света и значения индекса цветопередачи  $R_a$ .

Варианты освещения предварительно были смоделированы в программе «*DIALux*» с целью выполнения известных требований [3] (рис. 6). Изменение освещённости на рабочей поверхности  $E$  достигалось, соответственно, использованием ПРА и устройств управления, регулируемых по протоколу «*DALI*». Исследования проводились при трёх уровнях  $E$ : 200, 400 и 1000 лк.

Использовалась разработанная нами комплексная методика оценки влияния условий ОСД на показатели состояния органа зрения и организма человека в целом [4].

Анализ существующих методик определил выбрать наиболее адекватные поставленной задаче – оценке эффективности условий ОСД при выполнении зрительно-напряжённых работ. Так, изменения функционального состояния органа зрения оценивались на основании исследований: аккомодационно-мышечного и рецепторного аппаратов органа зрения; центрального звена органа зрения.

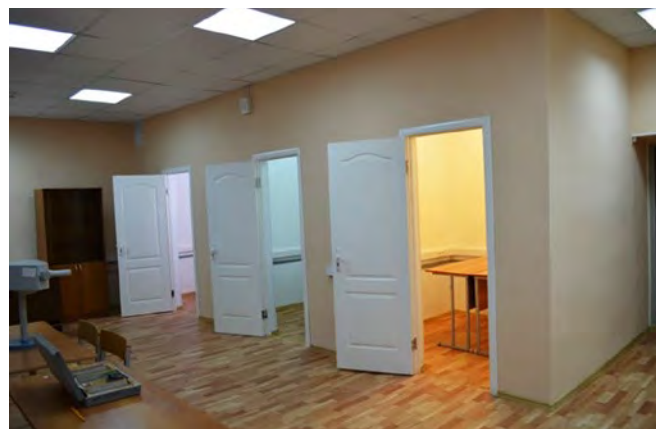
Перед началом исследований группа студентов-добровольцев в возрасте 20–25 лет прошла обследование в Республиканской офтальмологиче-

<sup>1</sup> Так как ЛЛ – одни из самых обследованных ИС массового применения по психофизиологическому и гигиеническому воздействиям их излучения на организм.

<sup>2</sup> Производитель – российско-корейская компания (ООО) «Непес Рус» (с СД собственного производства).

<sup>3</sup> Производитель – ОАО «Ардатовский светотехнический завод» (с СД производства *Seoul Semiconductor*).

Рис. 1. Помещения для обследования и проведения экспериментальных исследований



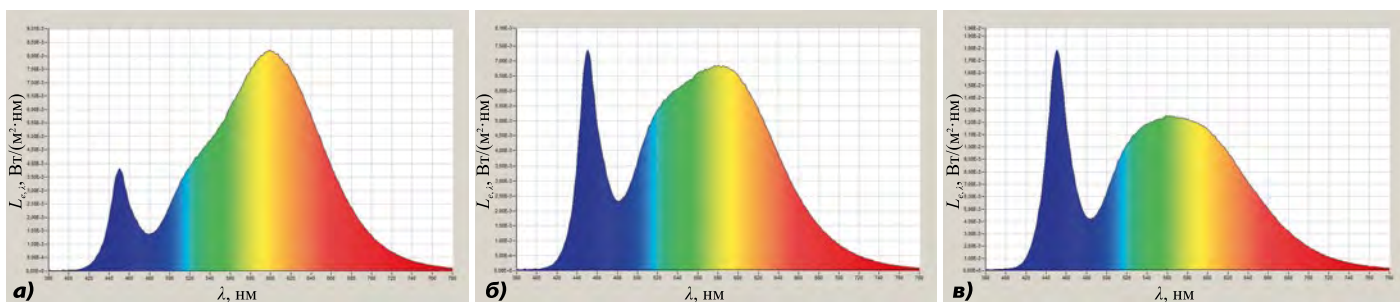


Рис. 2. Спектры излучения светильников *Cap Flat 66-16* с  $T_{кц}$  3000 К (а), *Cap Flat 66-16* с  $T_{кц}$  4000 К (б) и ДВО 12-38-416 с  $T_{кц}$  5000 К (в)

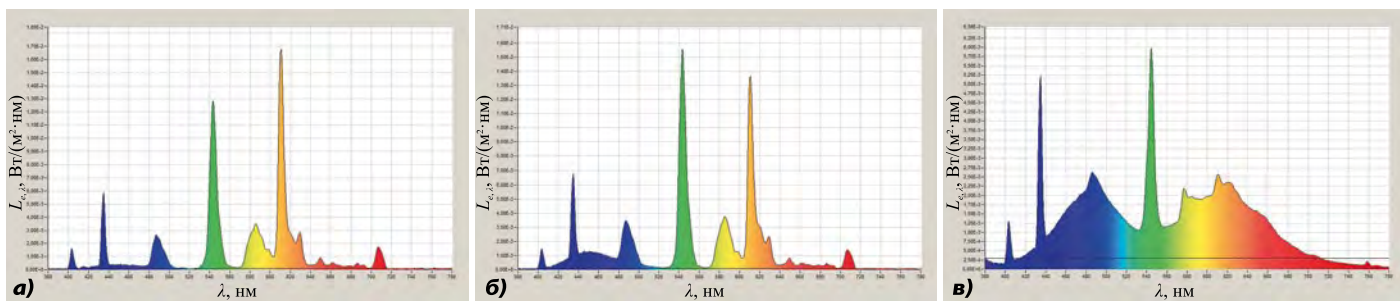


Рис. 3. Спектры излучения светильников ЛВО 04-4x14-041 PRS с ЛЛ T5 FH 14W HE ( $T_{кц}$  3000 К) производства *Osram* (а), ЛВО 04-4x14-041 PRS с ЛЛ Master TL5 HE14W ( $T_{кц}$  4000 К) производства *Philips* (б) и ЛВО 04-4x18-041 PRS с ЛЛ T8 L 18W ( $T_{кц}$  5000 К) производства *Osram* (в)

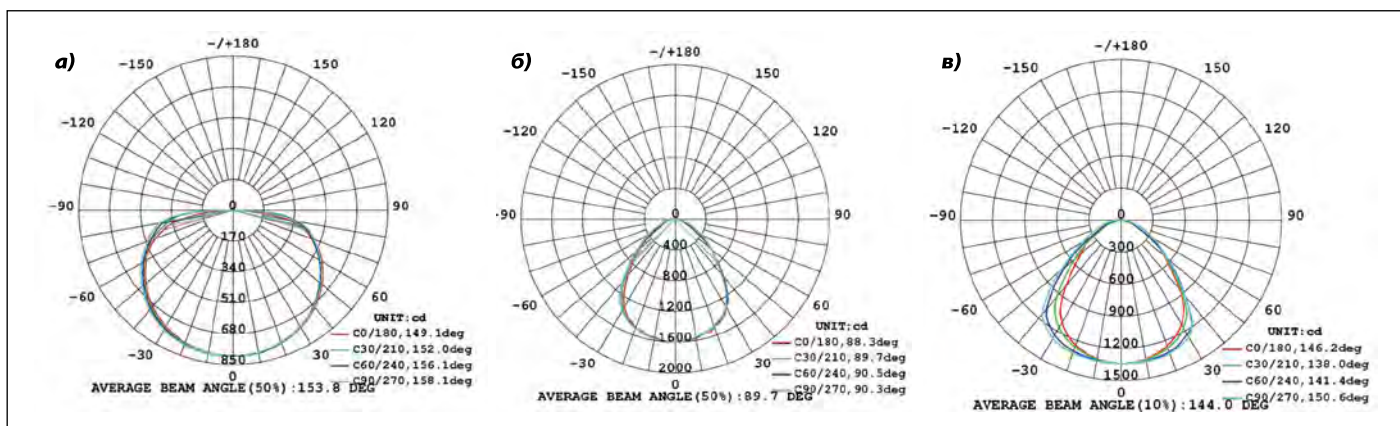


Рис. 4. КСС светильников *Cap Flat 66-16* (а), ДВО 12-38-001 (б) и ЛВО 04-4x14-041 PRS с ЛЛ T5 (в) в четырёх меридиональных плоскостях

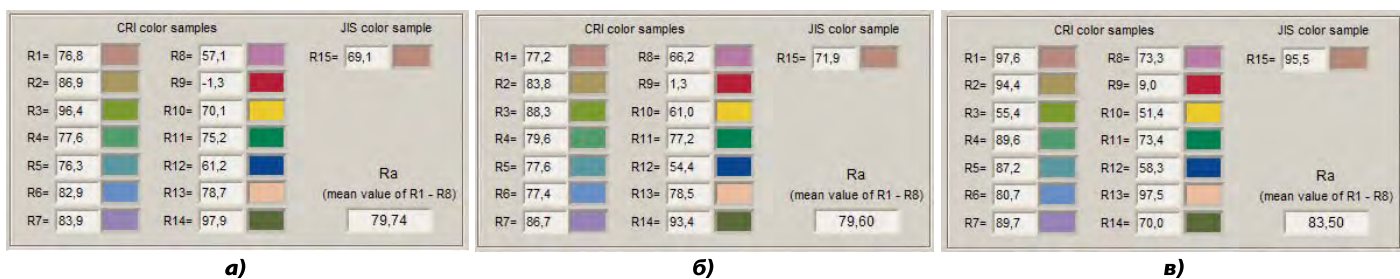


Рис. 5. Индексы цветопередачи светильников *Cap Flat 66-16* (а), ДВО 12-38-001 (б) и ЛВО 04-4x14-041 PRS с ЛЛ T5 Master TL5 HE14W ( $T_{кц}$  4000 К) *Philips* (в)

ской больнице Саранска. Оно включало определение рефракции и остроты зрения и компьютерную томографию сетчатки глаз. У всех отобранных наблюдателей были: рефракция преимущественно эметропическая; острота зрения на оба глаза 1,0 и цветоощущение без патологии.

Отобранные наблюдатели в количестве 60 человек были случайным образом разбиты на две группы по 30 человек: контрольная – эксперимент при освещении ЛЛ (ОЛЛ) – и основная – эксперимент при ОСД. Число наблюдателей и количество экспериментов определялись исходя из требований

получения статистически достоверных данных и регламентации времени проведения исследований. Были составлены план эксперимента и графики работы каждой группы, учитывающие суточные биоритмы человека. Функциональной нагрузкой служила полтора часовая зрительно-напряжён-



Рис. 6. Моделирование освещения помещений для экспериментальных исследований (в «DIALux»)



ная работа корректорского типа с бу-  
мажными текстами, включая расчёт  
площадей криволинейных фигур (ум-  
ственная компонента).

Во всех исследованных вариантах  
освещения показатели качества осве-  
щения не превышали нормируемых  
значений [3]: объединённый показа-  
тель  $UGR$  составлял 10–14, а коэф-  
фициент пульсации освещённости –  
0,2–0,6 %.

Перед началом исследований все  
наблюдатели прошли 10-дневную тре-  
нировку по методикам исследований,  
достаточную для получения стабиль-  
ных результатов.

По окончании исследований кон-  
трольная и основная группы наблю-  
дателей прошли повторное обследо-  
вание в Республиканской офтальмо-  
логической больнице Саранска, чтобы  
определить, не вызывает ли ОСД не-  
гативное воздействие на орган зре-  
ния.

План эксперимента предусматри-  
вал при заданных условиях освеще-  
ния измерения до и после выполне-  
ния зрительных работ объёма абсо-  
лютной аккомодации (ОАА), времени  
ахроматической адиспаропии, крити-  
ческой частоты слияния мельканий  
(КЧСМ) (на компьютерном комплексе  
КПФК-99 «Психомат») и артериально-  
го давления. В конце работы наблю-  
датель заполнял личную анкету субъ-  
ективной оценки условий освещения<sup>4</sup>.

Кроме того, перед выполнением  
зрительно-напряжённой работы и по  
её окончании у наблюдателей изме-  
рялись монокулярно пороги цвето-  
различения (с помощью аномалоско-  
па АН-59) и проекции слепого пятна  
органа зрения (по методу кампиме-  
трии) [5].

### Обследования органа зрения

Исследования показали уменьше-  
ние ОАА при выполнении зритель-  
но-напряжённой работы во всех рас-  
сматриваемых вариантах освещения  
(табл. 1 и 2).

Определение, по  $t$ -критерию Стю-  
дента с  $p < 0,05$ , достоверности изме-  
нений ОАА в результате зрительной  
нагрузки показало, что практически  
во всех вариантах освещения сдвиги  
в значениях ОАА достоверны и не  
переходят границ естественных ва-  
риаций этого показателя аккомодатив-  
ной функции органа зрения (0,5–  
1,5 дптр).

Влияние спектрального состава  
на изменение рассматриваемого по-  
казателя аккомодации при постоян-  
ной  $E$  по  $t$ -критерию Стюдента вы-  
явлено при  $T_{кц}$  4000 К и всех уров-  
нях  $E$ , а при  $T_{кц}$  5000 К только при  
 $E$  200 и 400 лк. Наибольшие значе-  
ния ОАА зафиксированы при ОСД.  
Превышение ОАА после работы при  
ОСД по сравнению с базовым вари-  
антом освещения (ОЛЛ) при  $T_{кц}$  4000  
К и  $E$  200–1000 лк составило 0,6–0,7  
дптр (6,3–8,4 %), а при  $T_{кц}$  5000 К и  $E$   
200–400 лк – 0,5–0,7 дптр (6,0–8,0 %).  
То есть установлено, что орган зрения  
лучше аккомодирует при ОСД (при  $T_{кц}$   
4000 и 5000 К), что объясняется боль-  
шей активностью цилиарной мышцы  
и, видимо, связано со спектром излу-  
чения СД [6].

Влияние  $T_{кц}$  при постоянной  $E$  на  
время ахроматической адиспаропии  
при работе в сравниваемых вариан-  
тах весьма существенно. Время ахро-  
матической адиспаропии как до, так  
и после работы оказалось более про-  
должительным при ОСД. Это показы-

вает, что ОСД создаёт более благопри-  
ятные условия для работы аккомодаци-  
онно-мышечного аппарата органа  
зрения, чем ОЛЛ.

При оценке состояния сетчатки по  
показателям компьютерной томогра-  
фии было установлено, что по окон-  
чании эксперимента у наблюдателей  
обеих групп (контрольной и основ-  
ной) сохранился профиль фовеолы  
и не нарушена архитектура сетчат-  
ки. При этом статистическая обработ-  
ка результатов обследования не выяви-  
ла статистически значимых различий  
между исследуемыми показателями  
( $p > 0,05$  по  $t$ -критерию Стюдента);  
то есть состояние сетчатки наблю-  
дателей осталось без достоверных из-  
менений.

Исследование площади проекции  
слепого пятна показало, что ретиналь-  
ное утомление, оценённое по состоя-  
нию периферического зрения, приво-  
дит к достоверному увеличению фи-  
зиологической площади слепого пятна  
после выполнения напряжённой зри-  
тельной работы. Диапазон увеличения  
проекции диска зрительного нерва по  
отношению к исходному для вариан-  
тов ОЛЛ составил 6,57–12,06 %, а для  
вариантов ОСД – 3,87–10,77 %. Со-  
поставление динамики исследуемого  
показателя указало, что при  $T_{кц}$  3000  
К ОСД способствует меньшему зри-  
тельному утомлению (ЗУ), чем ОЛЛ  
( $p < 0,05$ ).

В ходе эксперимента установлен  
неодинаковый характер изменения  
порогов цветоразличения при разных  
вариантах освещения. Из полученных  
результатов следует – при зритель-  
ной работе в условиях ОЛЛ и ОСД  
функциональное состояние сетчатки  
не было одинаковым, что, очевидно,  
связано с фотохимическими реакци-  
ями в сетчатке, которые могут тормо-  
зиться и усиливаться под действием  
излучений в разных частях видимого  
спектра. Влияние излучения СД вы-  
явлено только на  $s$ -рецептор сетчатки  
при  $T_{кц}$  4000 К и  $E$  1000 лк и при  $T_{кц}$   
5000 К и  $E$  400, 1000 лк ( $p < 0,05$ ). Для  
других вариантов освещения влияние  
излучения ИС на  $k$ -,  $z$ -,  $s$ -рецепторы  
оказалось незначительным, что может  
быть объяснимо характером зритель-  
ных задач – работа с ахроматически-  
ми объектами.

Исследования состояния централь-  
ного звена органа зрения до и после  
работы по методу КЧСМ не позволи-  
ли выявить наиболее предпочтитель-

<sup>4</sup> Специально разработанная анкета субъективной оценки с вопросами по основным характеристикам варианта освещения (ОЛЛ или ОСД), цветопередающим свойствам излучения и психоэмоциональному состоянию наблюдателя.

Изменение ОАА после зрительной нагрузки при разных вариантах ОСД

E, лк	T <sub>кц</sub> , К	До работы		После работы		Коэффициент корреляции	
		ОАА, дптр, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t \cdot \sigma_{\bar{x}}$	ОАА, дптр, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t \cdot \sigma_{\bar{x}}$	r (между «до» и «после» работы)	p(r)
200	3000	8,70	0,10	8,40	0,21	0,75	< 0,05
400		9,00	0,21	8,80	0,12	0,85	<0,01
1000		9,90	0,16	9,70	0,19	0,73	<0,05
200	4000	9,40	0,13	9,00	0,16	0,66	
400		9,70	0,17	9,50	0,19	0,65	
1000		10,10	0,13	10,20	0,18	0,14	–
200	5000	9,30	0,11	8,70	0,15	0,79	<0,05
400		9,70	0,13	9,40	0,18	0,66	
1000		10,00	0,22	9,80	0,24	0,63	

Таблица 2

Изменение ОАА после зрительной нагрузки при разных вариантах ОЛЛ

E, лк	T <sub>кц</sub> , К	До работы		После работы		Коэффициент корреляции	
		ОАА, дптр, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t \cdot \sigma_{\bar{x}}$	ОАА, дптр, $\bar{x}$	Доверительный интервал, $t \cdot \sigma_{\bar{x}}$	r (между «до» и «после» работы)	p(r)
200	3000	8,60	0,21	8,20	0,12	0,73	<0,01
400		8,80	0,20	8,60	0,10	0,69	<0,05
1000		9,60	0,14	9,40	0,10	0,74	<0,01
200	4000	8,80	0,14	8,30	0,16	0,69	<0,05
400		9,10	0,15	8,80	0,10	0,77	<0,01
1000		9,80	0,14	9,60	0,12	0,85	<0,001
200	5000	8,70	0,29	8,20	0,27	0,63	<0,05
400		9,10	0,17	8,70	0,23	0,83	<0,001
1000		9,70	0,10	9,40	0,07	0,72	<0,05

ный вариант освещения: *t*-критерий Стьюдента не подтвердил достоверности различий во всех исследованных диапазонах *E* и *T<sub>кц</sub>*. Таким образом, установлено, что значения КЧСМ при ОСД и ОЛЛ едва различимы.

Результаты исследований показывают, что снижение КЧСМ в ходе эксперимента связано с выполняемой зрительно-напряжённой работой; этот процесс обратим – к началу следующего дня показатели восстанавливались до исходных значений. То есть ОСД не оказывало угнетающего дей-

ствия на состояние центральной нервной системы.

#### **Определение интегральных показателей эффективности освещения светодиодами по зрительной работоспособности и зрительному утомлению**

Зрительная работоспособность оценивалась по методу корректурных проб. При этом использовались специальные тесты – корректурные пробы, составленные из букв кириллицы

с помощью генератора случайных чисел, контраст тестов – отрицательный. Наблюдатели работали с тестами в течение двух минут – вычёркивали заданную букву, встречающуюся в определённых сочетаниях. По результатам теста рассчитывались коэффициент зрительной работоспособности *I*, учитывающий просмотренное в тесте количество знаков, и коэффициент качества, учитывающий правильно вычёркнутые знаки и допущенные ошибки [7]. Анализ результатов исследования показал преимущества



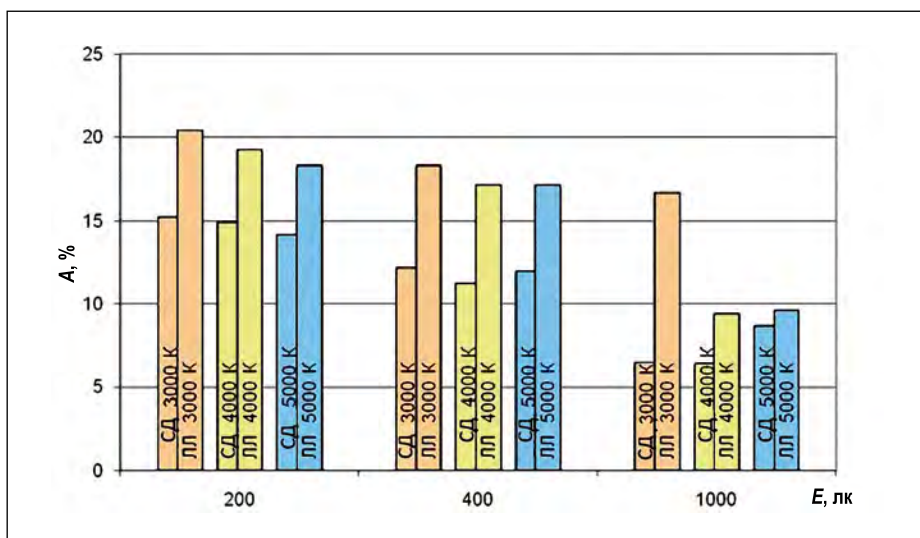


Рис. 7. Зрительное утомление (по методу ахроматической адиспаропии)

ОСД в обеспечении большей зрительной работоспособности. Наибольшим значением  $I$  при ОСД оказалось при  $T_{кц}$  4000 K. Так, по сравнению с ОЛЛ оно при  $E$  200, 400 и 1000 лк на 11,8, 14,9 и 12,4 %, соответственно, выше.

Полученный парный коэффициент корреляции  $r$  подтвердил ( $p < 0,05$ ) наличие положительной взаимосвязи между ОАА и  $I$  после зрительной работы. Это позволило предположить, что определённый вклад в повышение  $I$  при ОСД вносила лучшая работа аккомодационно-мышечного аппарата.

Результаты исследования качества работы показали, что в процессе зрительной нагрузки его уровень снижался. Однако достоверность снижения коэффициента точности по  $t$ -критерию Стьюдента обнаружена лишь в условиях ОСД при  $T_{кц}$  4000 K ( $E$  400 и 1000 лк) и  $T_{кц}$  5000 K ( $E$  400 лк). Различия в качестве работы при сопоставлении вариантов ОСД и ОЛЛ оказались незначимыми.

ЗУ оценивалось по динамике временного порога ахроматической адиспаропии.

При этом показатель ЗУ  $A$  рассчитывался как

$$A = \left(1 - \frac{t_j}{t_i}\right) \cdot 100\%,$$

где  $t_i$  и  $t_j$  – времена ахроматической адиспаропии до и после зрительной работы, с, соответственно.

Результаты расчёта  $A$  (рис. 7) показали, что при ОСД в процессе 1,5-часовой зрительно-напряжённой работы

развивалось меньшее ЗУ. Наименьшее ЗУ при ОСД оказалось при  $T_{кц}$  4000, 5000 K и  $E$  400 лк. Достоверность влияния  $T_{кц}$  на ЗУ доказана во всех исследованных вариантах освещения с  $p < 0,05$  по  $t$ -критерию Стьюдента.

Анализ интегральных показателей эффективности освещения по зрительной работоспособности показал, что условия ОСД способствовали обеспечению большей зрительной работоспособности и меньшего ЗУ.

Анализ полученных результатов достоверно показал, что ОСД не оказывает отрицательного (негативного) воздействия на орган зрения и показатели зрительной работоспособности (возрастная группа 20–25 лет). Исследования, выполненные при разных условиях освещения (ОСД и ОЛЛ), выявили как тесную связь функций зрения с компенсаторно-приспособительной реакцией организма, так и устойчивость адаптивных систем, ответственных за регуляцию чувствительности органа зрения и организма в целом. Результаты проведённых исследований могут использоваться для разработки практических рекомендаций по применению ОСД.

В заключение следует подчеркнуть, что работы по гигиенической оценке ОСД требуют продолжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Световая среда для человека: наука, промышленность и закон // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 45–49.
2. ГОСТ Р 54350–2015 «Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний».

3. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».

4. Железникова О.Е., Амелькина С.А., Сеницына Л.В., Кирюхина С.В. Разработка комплексной методики оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние органа зрения и организма человека в целом // Естественные и технические науки. – 2013. – № 5 (67). – С. 249–257.

5. Аксенова С.В., Куликова М.П., Железникова О.Е., Сеницына Л.В., Амелькина С.А. Способ определения зрительного утомления / Патент России № 2534910. 2014. Бюл. № 34.

6. Кучма В.Р., Текшева Л.М., Сухарева Л.М. и др. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. – М.: ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН, – 2013. – 246 с.

7. Практикум по физиологии труда / Под ред. К.С. Точилова. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. – 1970. – 251 с.



**Амелькина Светлана Анатольевна**, кандидат техн. наук, доцент. Окончила в 1989 г. светотехнический факультет МГУ им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва



**Железникова Ольга Евгеньевна**, кандидат техн. наук, доцент. Окончила в 1989 г. светотехнический факультет МГУ им. Н.П. Огарёва. Заведующий кафедрой светотехники МГУ

им. Н.П. Огарёва. Заслуженный работник высшей школы Республики Мордовия. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»



**Сеницына Людмила Васильевна**, кандидат техн. наук, доцент. Окончила в 1989 г. светотехнический факультет МГУ им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры источников света

МГУ им. Н.П. Огарёва

# Проектирование и качество спортивного освещения

В.Н. СТЕПАНОВ

E-mail: stepanov.vns53@yandex.ru

## Аннотация

Рассмотрены проблемы проектирования искусственного освещения спортивных сооружений. Основное внимание уделено нормативной базе и инструментам светотехнического проектирования – компьютерным программам моделирования и расчёта характеристик освещения.

**Ключевые слова:** проектирование, качество, спортивное освещение, нормативные документы, инструменты проектирования, программы.

Нынешняя ситуация с проектированием спортивного (и не только) освещения в нашей стране сложилась под влиянием ряда объективных внешних факторов. Во-первых, в связи с пресловутой перестройкой экономической системы отраслевая структура экономики была разрушена, и, как следствие, перестали (практически) существовать образующие её элементы: крупные промышленные предприятия, отраслевые научно-исследовательские и проектные институты. На смену им пришли мелкие частные компании и торговые представительства иностранных светотехнических компаний-производителей. Во-вторых, произошла «светодиодная революция», оставившая не у дел электротехнических «гигантов», определявших лицо светотехники в XX веке (*General Electric, Osram, Philips*), на смену которым пришла «армия» новых, динамично развивающихся, активных, часто беспринципных компаний, имеющих корни в электронной полупроводниковой промышленности. Государство, регулируя хозяйственную деятельность, через федеральный закон № 44-ФЗ, о госзакупках, ввело в обиход тендеры, что отразилось на приоритетах, влияющих на принятие технических решений. В таких условиях главной целью деятельности светотехнических компаний служит получение прибыли за счёт продаж продуктов и услуг, а проектирование освещения превратилось в одно

из средств достижения этой цели, причём главным приоритетом в проектировании стало стремление к минимизации первоначальных капитальных затрат, иными словами, к минимизации объёма оборудования. Такое положение породило миф о том, что сам продукт производства той или иной компании (источник света, прожектор и т.п.), способен решать все проблемы освещения, возникающие у клиентов. Проектирование же освещения превратилось в бесплатный сервис, предназначенный для облегчения продаж «продукта». Образно говоря, «телега была поставлена впереди лошади».

На самом же деле качество продукта, т.е. высокие технические характеристики осветительного оборудования, – необходимое, но далеко не достаточное условие получения хорошего освещения. Для получения высококачественного освещения, в том числе спортивного, необходимо и достаточно качество его проектирования.

А от чего зависит качество проектирования спортивного освещения? В первую очередь от приоритетов, которыми руководствуется инженер-проектировщик. При этом в проектировании высшим приоритетом должно быть достижение качества освещения. Но сколько людей, столько и «пониманий» качества. Подавляющее большинство убеждено, что достаточно выполнить все предписания стандартов и указания «вышестоящих органов» и качество будет обеспечено. Но это заблуждение. Слепое выполнение предписаний подобно «итальянской забастовке», когда все требования выполнены, а результат отрицателен. Яркой иллюстрацией этого может служить ситуация с освещением тренировочных полей для команд, участвующих в финальной стадии чемпионата мира по футболу 2018 года. Как это уже неоднократно случалось, неправильно переведённый и превращённый в документ Оргкомитета, предписывающий обеспечить на игровом поле в любой его точке освещённость

не менее 500 лк. И всё – больше никаких пояснений и требований. В итоге исполнители стали приспособлять часто устаревшие и негодные мачтовые системы освещения, ориентируясь только на выполнение этого требования, нисколько не интересуясь и не принимая во внимание, какие же условия освещения нужно создавать для тренировочных занятий и игр футболистов. Практически все принципы правильного освещения для большей части тренировочных футбольных полей были нарушены. Никто даже не удосужился ознакомиться с опытом спортивного освещения, накопленным в нашей стране и изложенным в публикациях такого признанного авторитета, как В.М. Царьков (см., напр., [1]). В частности, никто не задумывался об обеспечении видимости игроков и мяча на поле, о средствах обеспечения равных условий видимости для всех игроков, тренеров, судей и зрителей, моделирующем эффекте освещения, тенях и ограничении уровня ослепления.

Современное понимание качества освещения и того, какими средствами оно достигается, изложено в сжатой и одновременно достаточно полной мере в евростандартах по искусственному освещению (внутреннему и наружному) [2, 3]. Там, в частности, сказано, что для достижения освещения высокого качества необходимо обеспечить условия для высокой зрительной работоспособности, обеспечить зрительный комфорт и создать адекватную видимую «атмосферу».

Высокая зрительная работоспособность достигается выполнением предписаний по уровням освещённости на рабочих поверхностях и ограничению слепящего действия источников света. Для зрительного комфорта необходимы гармоничность распределения яркости (светлоты) в поле зрения и адекватность цветопередачи излучения. Видимая «атмосфера» формируется правильным моделированием трёхмерных объектов, выбором цветности излучения (цветовой температуры ОП) и обеспечением правильного направления распространения света.

## Внутренние проблемы проектирования спортивного освещения

Повторим ещё раз: проектируя систему спортивного освещения, инже-



нер «опирается» на специализированную нормативную базу, прежде всего на: соответствующие стандарты, в которых зафиксирован технический уровень, достигнутый в данной области; адекватное понимание поставленной задачи и методов её решения; владение имеющимися в его распоряжении инструментами проектирования (в нашем случае прикладными компьютерными программами).

### Стандарты и технические рекомендации

Для людей, пришедших в светотехнику из других сфер деятельности, первое препятствие на их новом пути состоит в низком качестве нормативных документов на родном (русском) языке. В отсутствие современных учебников и справочников<sup>1</sup> основным документом, своего рода «библией» любого инженера, имеющего отношение к проектированию освещения, является СП [4]. Именно в этом документе даны определения основных светотехнических терминов, изложены принципы нормирования, регламентированы нормируемые характеристики и факторы, которые необходимо учитывать при проектировании. Именно на его основе затем возникают отраслевые и специализированные нормы и рекомендации. К сожалению, понять этот документ могут лишь «посвящённые»: те, кто знаком с историей развития советской и постсоветской российской светотехники. Несколько десятилетий разработчики этого стандарта отстаивали ряд сомнительных достижений нашей теоретической светотехники и переносили из одного издания в другое такие доморощенные показатели, как «блёскость», «коэффициент ослеплённости» и «показатель ослеплённости», «показатель дискомфорта (МЭИ)», а также концепцию нормирования минимальной освещённости на рабочей поверхности. В нынешней, актуализированной редакции документа от названных выше характеристик отказались [4] и ввели те, которые фигурируют в евростандартах. Но, оказалось, что те, да не те!

Дело в том, например, что для оценки слепящего действия прожекторных спортивных и иных ОУ в международ-

ной практике уже несколько десятилетий используют такой показатель, как «glare rating,  $G_R$ » – «оценка (ранг, рейтинг) ослеплённости». Введён он и в наш СП [4]: «3.34 коэффициент слепящей блескости  $R_G$  – коэффициент, характеризующий прямую слепящую блёскость светильников в осветительной установке в местах производства работ вне здания, вычисляемый по формуле ...» (приводится формула, заимствованная из евростандарта [2]). Но это определение неадекватно оригиналу. Во-первых, «коэффициент» подразумевает какое-то постоянное число, а не переменное. Во-вторых, совершенно не оправдано ограниченные области применения этого параметра «областью вне здания...». А самое главное – это искажение смысла, присущего понятию «glare» в первоисточниках. Так, согласно справочнику Североамериканского светотехнического общества (ССО), *IESNA Lighting Handbook*, и евростандарту [2], «glare» – это «ощущение, вызванное яркостями в поле зрения, которые по своему уровню значительно выше яркости, к которой адаптированы глаза; это ощущение, которое проявляется в раздражении, дискомфорте или потере зрительной работоспособности и видимости».

В нашей же стране было введено (в конце 1930-х) и использовалось другое определение этого термина [5]: «Блёскость (glare) – свойство световых приборов или светящихся поверхностей при неблагоприятном соотношении между их яркостью, силой света и яркостью окружающего пространства нарушать условия комфортного зрения или ухудшать контрастную чувствительность, или оказывать одновременно оба эти дей-

ствия». Далее, в примечании к этому определению, указано, что в русском языке «блёскость» (как и производные термины «прямая блёскость», «периферическая блёскость», «отражённая блёскость», «дискомфортная блёскость», «слепящая блёскость») относится к свойству источников света и других светящихся поверхностей, а не к условиям видения, ухудшенным вследствие наличия в поле зрения неблагоприятно распределённых яркостей. Такое определение вполне соответствует материалистическому подходу, который был характерен для советского времени, что отчасти объясняет и оправдывает существование этого определения. Но факт остаётся фактом: смысл термина искажён, что в дальнейшем дало свои «плоды». Неправильное понимание явления неизбежно приводит к ошибочным проектным решениям.

Аналогичные замечания можно отнести к определению термина «UGR» (*unified glare rating*): «3.44 объединённый показатель дискомфорта UGR, относительные единицы: критерий оценки дискомфорта блёскости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения...». Если следовать логике определений, приведённых выше, то это показатель свойства источников света и светильников создавать зрительный дискомфорт при ещё одном дополнительном условии – «неравномерном распределении яркостей в поле зрения...».

Читателю будет особенно интересно узнать, что же понимается в СП [4] под «яркостью». Читаем: «3.112 яркость  $L$ , кд/м<sup>2</sup>: Отношение светового потока  $d^2\Phi$ , переносимого элементарным пучком лучей, проходящим через

Таблица № 1

### Расчет средней мощности освещения

Среднее освещение  $E_{med}$  соответствует равномерному освещению по вертикали  $E_{min}/E_{max} \geq 0,4$  и  $E_{min}/E_{med} \geq 0,6$

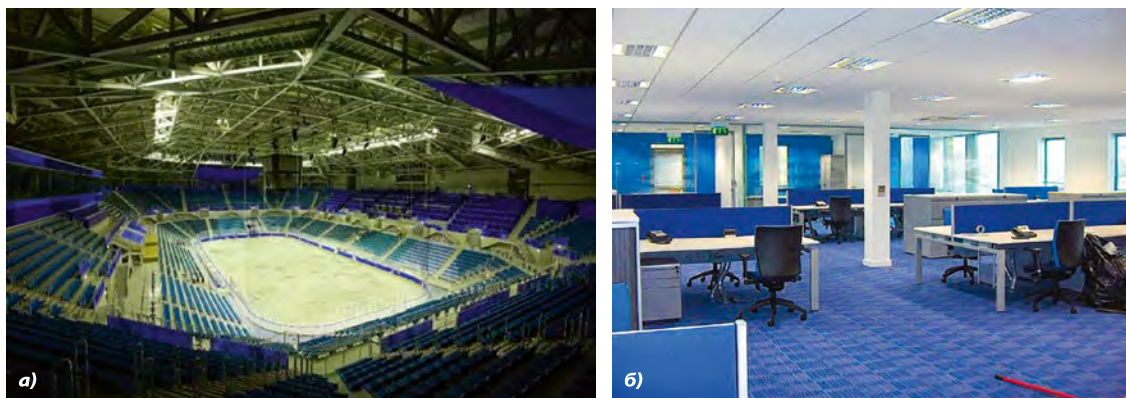
При расчете применяются нижеследующие сокращения:

Символ или сокращение	Термин	Разъяснение
E	Освещение	Количество света в люксах, попадающего (угол падения) на поверхность в определенной точке
$E_v$	Вертикальное освещение	Освещение по вертикали 1,5 м над уровнем поля (ориентация в направлении главной камеры)
$E_{min}/E_{max}$ $E_{min}/E_{med}$	Равномерное освещение	Отчет, описывающий степень распределения равномерного освещения всей поверхности поля
$L_x$	Люкс	Единица выражения освещения. 1 lx = 1 lm/m <sup>2</sup>

Рис. 1. Фрагмент стандарта [6]

<sup>1</sup> Последнее издание «Справочной книги по светотехнике» (2006 г.) во многом устарело.

Рис. 2. Сравнение условий освещения в зале с ледовой площадкой (а) и в офисе (б)



заданную точку и распространяющимся в телесном угле  $d\Omega$ , содержащим заданное направление, к произведению площади проходящего через заданную точку сечения этого пучка  $dA$ , косинуса угла  $\theta$  между нормалью к этому сечению и направлением пучка лучей и телесного угла  $d\Omega$ :  $L = d^2\Phi / (dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega)$ .

В связи с этим интересно бы знать, как пользоваться этим определением, проектируя освещение, и как представлять себе при этом понятия «габаритная яркость», «яркость адаптации», «яркость вуалирующей пелены» и т.п.

После документа, подготовленного дипломированными и «остепенёнными» специалистами-светотехниками, уже более снисходительно можно относиться к тому, что содержится в технических регламентах разных спортивных организаций (союзов, федераций и т.п.), которые из-за отсутствия российского стандарта по спортивному освещению вынуждены как-то сами формулировать требования к освещению спортивных сооружений: см., например, рис. 1<sup>2</sup>.

Подобные примеры можно множить и множить, но мы ограничимся приведёнными выше. Читатель может и сам убедиться в «качестве» технических регламентов хоккейных лиг [7] и других подобных документов на русском языке. В результате ничего не остаётся, как прибегать к первоисточникам: евростандарту по спортивному освещению [8] и техническим рекомендациям международных спортивных федераций (ФИФА, УЕФА, ФИБА и др.), а также к справочным материалам, предлагаемым зарубежными производителями светотехнического оборудования.

## Инструменты проектирования

Инженеры старшего поколения хорошо помнят, что в 1960–1970-х они ещё считали на логарифмической линейке. Затем пошло бурное развитие вычислительной техники и автоматизации проектирования. Часто разработкой математических моделей и программного обеспечения для решения задач, возникающих при проектировании технических объектов, занимались сами инженеры, занятые созданием этих объектов, что было характерной особенностью этого периода в нашей стране. Программы были узкоспециализированными и некоммерческими, но пользователи знали их возможности и ограничения. Вместе с исчезновением исследовательских отраслевых и проектных институтов практически исчезли и дипломированные проектировщики, и «самодельные» программы. Светотехническими расчётами как дополнительным «бесплатным сервисом» стали заниматься сотрудники компаний-производителей осветительного оборудования. А инструментами светотехнического проектирования стали мощные универсальные программы, созданные за рубежом либо отдельными крупными компаниями (*Philips*, *Siemens (Siteco)*, *Osram*, *Thorn*, *SBP*, и др.), либо институтами, финансируемыми «вкладчику» многими более мелкими компаниями. Результатом такого объединения ресурсов стали программы «*Dialux*» и «*Relux*» – основные на сегодня инструменты проектирования функционального освещения всех видов, в том числе, спортивного. Особняком здесь стоит программа «*Calculux Area*», разработанная компанией *Philips*, кото-

рая, по мнению многих специалистов, наиболее удобна для проектирования спортивного освещения. Но, к сожалению, по ряду причин работы по обновлению и совершенствованию этой программы прекращены.

В нашей стране сейчас доминирует программа «*Dialux*». Пользоваться ею учат студентов-светотехников (в НИУ «МЭИ») и слушателей всевозможных курсов по «светодизайну». В Интернете можно найти много учебных фильмов, помогающих освоить эту программу самостоятельно. Многие владеют «*Dialux*» виртуозно, но вместе с тем для них она во многом – вещь в себе. Они не знают, какие математические модели в неё заложены, по каким алгоритмам обрабатывается информация, какие методы аппроксимации используются, каковы погрешности вычисления тех или иных параметров и от чего они зависят.

Главное, что отличает «*Dialux*» от «*Calculux Area*» – это возможность оценки полной освещённости элементарной площадки с заданной контрольной точкой. Отражённая составляющая этой освещённости – результат многократных переотражений светового потока между разными поверхностями внутри помещения. Здесь открывается широкое поле для «манипуляций», когда основным поверхностям зала произвольно приписывают отражающие свойства, «помогающие» выходить на нужный результат.

Характерный пример – освещение залов с хоккейной ледовой площадкой. Нередки случаи, когда полу (льду), стенам (трибунам) и потолку (металлоконструкциям) приписывают коэффициенты отражения, соответственно, 0,2–0,7, 0,3–0,5 и 0,3–0,7. При этом ледовая арена уподобляется офисному помещению (рис. 2). В расчётах также принимают, что лёд отра-

<sup>2</sup> Хотя в этом примере практически нет ни одной правильной формулировки, смысл угадывается без труда... Только бы присвоить документу гриф «Для служебного пользования», чтоб не ударить лицом в грязь перед зарубежными коллегами.



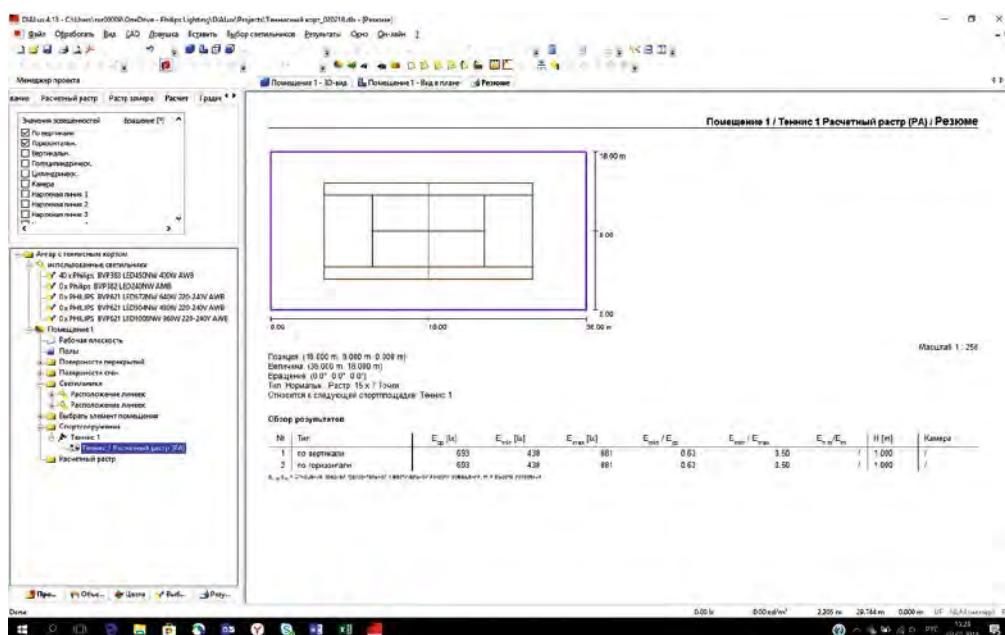


Рис. 3. Пример «окна» программы «Dialux»

жает диффузно, хотя ледовое покрытие современной хоккейной площадки сложно, многослойно, и потому имеет смешанный характер отражения. Реальные характеристики отражения ледовой поверхности никто не измерял, поэтому приписывать ей «воображаемые» отражающие свойства нельзя. Представляется, что правильной и честней было бы учитывать в расчётах только прямое излучение ОП.

Кроме того, и неадекватный перевод интерфейса также усложняет понимание самой программы и результатов её применения. Например, в программе есть расчёт под названием «по вертикали» (рис. 3). Точное назначение его выяснить не удалось, но «по умолчанию» он даёт результаты, эквивалентные тем, что и расчёт горизонтальной освещённости. Но самое удивительное, что нам известны несколько случаев, когда расчёт «по вертикали» выдавался за расчёт вертикальной освещённости, и техническое решение, основанное на таком «расчёте» в дальнейшем реализовывалось (и, конечно, заявленных значений вертикальной освещённости при этом не получалось).

В данной статье рассмотрены лишь некоторые аспекты самого первого этапа проектирования установок спортивного освещения – этапа светотехнического проектирования, на котором происходит осознание и понимание технического задания и требований действующих нормативных документов, осуществляется моделирование

объекта и выбор технических средств (источников света и ОП), определяется их количество, размещение и направленность действия. Последующие этапы: электрическая и конструктивная части проекта здесь не рассматривались, хотя они не менее важны для получения качественного результата.

### Выводы и рекомендации

1. Существующая организация работ по проектированию установок искусственного спортивного освещения не только не способствует получению нужного результата: высококачественного освещения, а чаще, наоборот, приводит к бесполезной трате средств и материальных ресурсов. По мнению автора, необходимо разделить коммерческую и техническую стороны деятельности, по примеру того, как это делается при подготовке спортивных соревнований мирового масштаба: олимпийских игр и чемпионатов мира.

2. Назрела необходимость в организации профессионального светотехнического общества, которое взяло бы на себя функции по аттестации светотехников и аккредитации компаний, занимающихся светотехническим проектированием. Аналогом может служить постановка дела в нашей стране у профессиональных бухгалтеров и аудиторов или деятельность ССО (IESNA). Из среды этого общества следовало бы создавать экспертные рабочие группы, которые могли

бы брать на себя труд по приведению в порядок отраслевых нормативных документов, в том числе и по спортивному освещению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Царьков В.М. Освещение спортивных сооружений. – М.: Энергия, 1971.
2. EN12464–1: 2011 «Light and lighting. Lighting of workplaces. Part 1: Indoor workplaces».
3. EN12464–2: 2007 «Light and lighting. Lighting of workplaces. Part 2: Outdoor workplaces».
4. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*.
5. Международный светотехнический словарь (International lighting vocabulary) / Публ. МКО (CIE) 1.1N17- (1970); рус. текст под общ. ред. д-ра техн. наук Д.Н. Лазарева. – 3 изд. – М.: Русский язык, 1979.
6. Стандарт РФС (СТО) «Футбольные стадионы». Москва, 2013.
7. Технический регламент КХЛ. Москва, 2017.
8. BS EN12193: 2007 «Light and lighting – Sports lighting».



**Степанов Виталий Николаевич,**  
кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. МЭИ. В 1992–1993 гг. работал в должности зам. главного редактора журнала «Светотехника»

# О школьном освещении

Д.А. МЕЛЬНИКОВ

Министерство энергетики Российской Федерации  
E-mail: MelnikovDA@minenergo.gov.ru

## Аннотация

Одним из приоритетных направлений государственной политики России сегодня является модернизация детских образовательных учреждений, и в этой связи вопрос о модернизации освещения школ и актуализации технических и санитарных норм является весьма значимым. Настоящая статья рассматривает вопрос модернизации освещения школ и внедрения в них осветительных установок со светодиодами, а также государственную политику России в области энергосбережения и модернизации светотехнической отрасли с точки зрения правового регулирования и нормирования.

**Ключевые слова:** освещение школ, энергосбережение, энергоэффективность, нормирование, требования к энергоэффективности

В настоящее время идёт стремительная смена технологического уклада в искусственном освещении. Этот процесс сопровождается активными дискуссиями об оптимальной последовательности и динамике перехода на новые технологии в целом и в отдельных специализированных сферах, а также о мерах государственной политики, с помощью которых эта динамика должна быть обеспечена.

Одним из заметных вопросов в этой дискуссии является выбор оптимального решения для освещения школ (и его последующее закрепление в актах технического регулирования и санитарного нормирования).

В настоящее время этот вопрос имеет повышенную значимость в связи с тем, что модернизация школ объявлена одним из приоритетов государственной политики в области образования.

По решению Правительства Российской Федерации до 2025 года реализуется масштабная программа по расширению и модернизации школ, в рамках которой планируется существенно улучшить материальную базу системы общего образования, в том числе планируется уйти от обучения в две

смены, улучшить условия для обучения. Для решения задачи планируется построить и модернизировать тысячи школ. Это значит, что выбранные в настоящее время решения по внутреннему освещению будут, как минимум несколько лет определять качество световой среды в образовательных учреждениях и таким образом влиять на уровень комфорта, здоровье и психоэмоциональное состояние школьников.

Традиционно при формировании требований к освещению применялся достаточно консервативный подход. Новые технологии и источники света внедряются в дошкольных образовательных учреждениях после тщательных исследований и анализа практики эксплуатации в менее чувствительных местах по принципу «не навреди». То есть переход к новым технологиям и решениям не должен создавать риски снижать существующий качественный уровень.

К сожалению, в последние годы чёткого отношения государства к внедрению светодиодных технологий в школе нет. Нормативное регулирование в данной сфере является весьма противоречивым непоследовательным, и способным поставить в затруднение любого специалиста от проектировщика до школьного завхоза.

Так, с 2011 года Федеральным законом № 261-ФЗ для всех бюджетных учреждений запрещено приобретение ламп накаливания [1].

С 1 июля 2016 г. вступили в силу утверждены Правительством Российской Федерации первоочередные требования энергетической эффективности [2], которые предусматривают использование для внутреннего освещения государственных и муниципальных учреждений (а именно в такой форме существуют почти все школы) только светодиодных источников света, за исключением случаев, когда использование таких источников не допускается санитарно-гигиеническими нормами и правилами.

В том же 2016 году Минстроем России был утверждён целый ряд сводов правил, которые с разной степе-

нью обязательности ограничивают использование в школах светодиодных источников света и предписывают использовать при проектировании систем внутреннего освещения в школах низкоэффективные и не экологичные линейные ртутные лампы, компактные люминесцентные лампы и лампы накаливания без учёта того, что приобретение всех этих видов ламп запрещена.

В связи с противоречиями в документах санитарного нормирования и их противоречивым пониманием в регионах в ответ на многочисленные обращения Роспотребнадзором были выпущены разъяснения о возможности применения светодиодных источников света при освещении школ [3]. Указанные разъяснения были также направлены в Территориальные управления Роспотребнадзора.

Противоречия между требованиями закона «Об энергосбережении», требованиями энергоэффективности и указанными выше сводами правил сохраняются до настоящего времени.

Это приводит к масштабному нарушению законодательства об энергосбережении, а также использованию в новых и модернизируемых школах устаревших источников света, основанных на ртутных лампах.

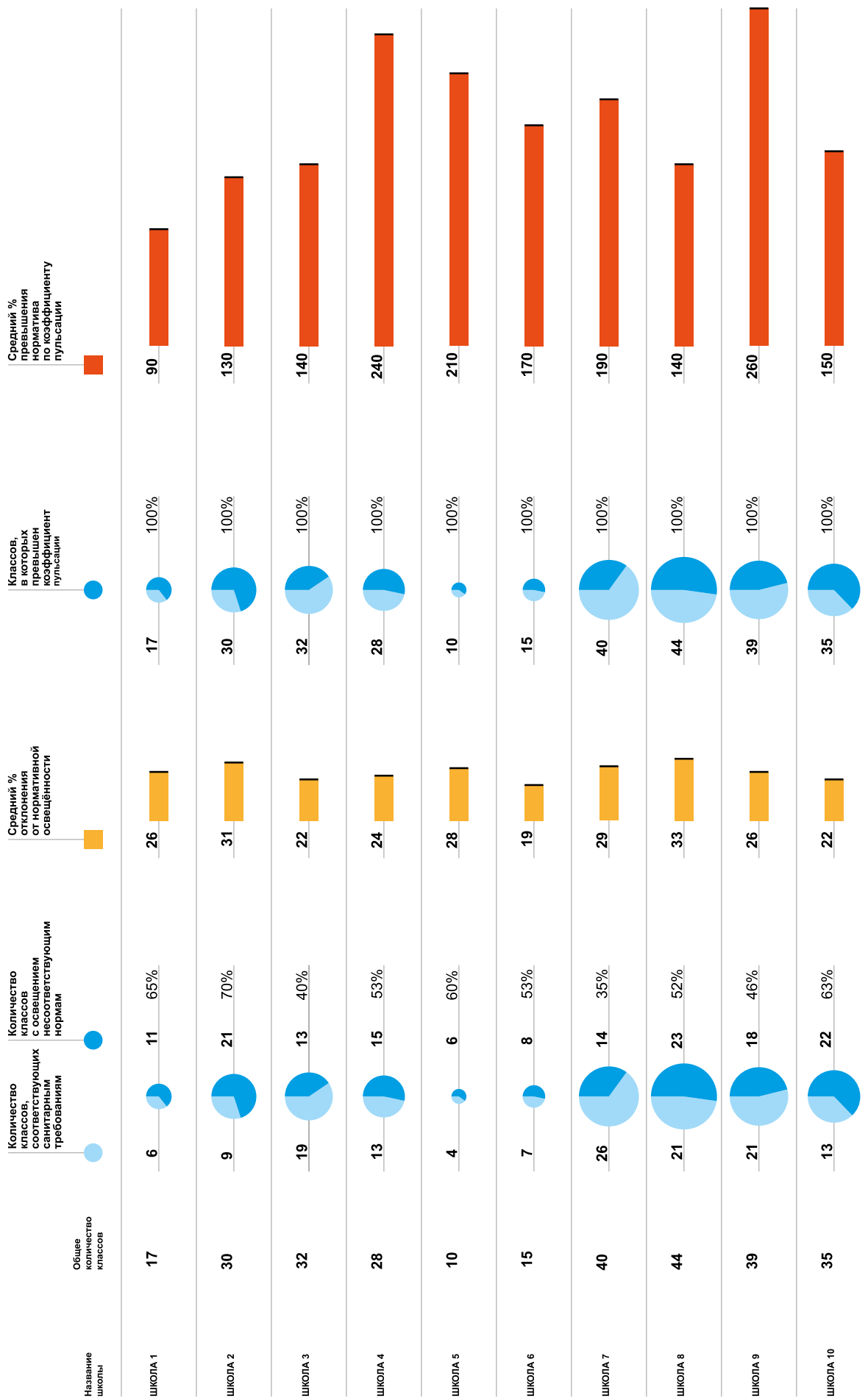
В связи со сложившейся ситуацией целесообразно рассмотреть вопрос об уместности перехода на светодиодное освещение в школах. Не будет ли такое внедрение преждевременным и не приведёт ли оно к неблагоприятному воздействию на здоровье школьников.

Надо отметить, что большинство дискуссий о преимуществах и недостатках светодиодного освещения не опирается на какие-либо заслуживающие доверия данные, а иногда используется и очевидно недостоверная информация.

Примером такой информации является обоснование к законопроекту № 604255–6, внесённому депутатами Государственной Думы Российской Федерации Грачевым И.Д., Крутовым А.Д. и Тарасюком В.М. В пояснительной записке утверждается, что замена ламп накаливания на более эффективные светодиодные лампы ведёт к возникновению в системе электропитания, перегрузке трансформаторов, их выводу и росту потерь, который перекрывает полученную экономию.

В настоящей статье автор хотел бы изложить отдельные факты, касающи-





\* Для определения нормативов по освещенности и коэффициенту пульсации светового потока приняты значения, установленные СанПиН «Санитарно-эпидемиологические требования к организации учебно-производственного процесса в образовательных учреждениях. СанПиН 2.4.3.1185-03»:

Для освещенности – МИНИМАЛЬНО допустимый уровень – 300 Лк (ОПТИМАЛЬНЫЙ) уровень освещенности – 500 Лк);

Для коэффициента пульсации светового потока – 10

Рис. 1. Качество освещения в школах по данным замеров в школах до модернизации освещения в рамках проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения»

еся освещения в российских школах, которые были получены в ходе изучения вопроса.

В ходе реализации демонстрационных проектов по модернизации освещения в школах в рамках проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Трансформация рынка для продвижения энергоэффективного освещения» в 2014–2016 гг. было модернизировано освещение в 15 школах в трёх регионах европейской части России.

По итогам модернизации освещения в этих школах был выполнен не только контроль соответствия качества освещения по итогам модернизации, но и «входной» контроль освещения. То есть перед демонтажом существующих систем освещения была проведена оценка качества существующего освещения во всех классах на поверхностях парт (во всех школах в качестве источников использовались светильники с линейными люминесцентными лампами Т8).

Качество оценивалось по двум параметрам – уровню освещённости (лк) и коэффициенту пульсации (%).

Для измерений использовался люксметр-яркометр-пульсометр «Эколайт», 00720–15, ФГ-01 № 01971–15.

В стандартном учебном классе уровень освещённости и коэффициент пульсации измерялись 9 раз (на 3 партах на каждом ряду), в дальнейшем использовался наименьший из полученных показателей (в целом полученные показатели были довольно близкими, особенно по показателю коэффициент пульсации).

Как видно из рис. 1, во всех классах было выявлено несоответствие по коэффициенту пульсации и в большинстве – по уровню освещённости (сравнение проводилось по отношению к минимальному уровню освещённости 300 лк).

Можно предположить, что основной причиной такого состояния является недопустимо низкая культура эксплуатации систем освещения. В большинстве школ исполнителем работ было отмечено крайне низкий уровень содержания внутренних электросетей. Зачастую не отвечающий самым минимальным требованиям их безопасной эксплуатации (ПУЭ) и тем более не учитывающий требования, необходимые для обеспечения нормативного качества освещения.

Ни в одной школе не было договора на утилизацию люминесцентных ламп,

что позволяет с высокой степенью уверенности предполагать, что такие лампы утилизировались вместе с обычными коммунальными отходами.

После получения таких результатов в первом регионе, для участия во входном контроле во втором регионе в рабочем порядке были приглашены представители территориального управления Роспотребнадзора (которые должны обеспечивать контроль за соответствием параметров освещения в школах санитарно-гигиеническим требованиям). Однако это приглашение было проигнорировано.

В связи с этим при планировании модернизации школ в третьем регионе Минэнерго России было официально направлено приглашение принять участие в проверке качества освещения как территориальному управлению, так и центральному аппарату Роспотребнадзора.

Сведения о результатах «входного» контроля также неоднократно направлялись в Роспотребнадзор, однако каких-либо ответов получено не было.

Без внимания остались и предложения Минэнерго России провести за счёт проекта исследование обоснованности сохранения действующих ограничений на использование светодиодного освещения, обеспечить территориальные органы Роспотребнадзора приборами, позволяющими обеспечить объективный контроль за качеством освещения в школах.

По экспертным данным ограничений на использование светодиодного освещения в школьных и дошкольных учреждениях нет ни в одной из стран ОЭСР. Проведённое в 2017 году по заказу Европейской комиссии изучение воздействия света от светодиодных источников света также не выявило какого-либо негативного воздействия на здоровье.

В связи с изложенным представляется целесообразным провести проверку того, как на самом деле проводится оценка готовности школ к началу учебного года в части контроля за соблюдением санитарных требований к освещению, какое действительно качество освещения в российских школах, и при принятии решения о дальнейших мерах государственной политики исходить из фактического состояния, а не идеального, предусмотренного нормативными документами. Потому что, как показывает практика, его достижение в ближайшее

время вряд ли представляется возможным.

Дополнительно предлагается оценить результаты имеющихся исследований о существенном влиянии качества освещения на успеваемость школьников, а также в возможно короткие сроки рассмотреть вопрос о снятии существующих ограничений на использование светодиодного освещения в детских дошкольных учреждениях (их насчитывается более 40 тыс. и увеличивается) обеспечивается за счёт таких же источников, какие были в школах, и вряд ли отличается по качеству.

Дополнительным предметом такой дискуссии могла бы стать выработка современных качественных стандартов школьного освещения, в том числе внедрение в школах самых передовых технологий, таких, как светильники с изменяемой цветовой температурой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2011 г. № 261-ФЗ. – Режим доступа: Система Гарант
2. О внесении изменений в пункт 7 Правил установления требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг при осуществлении закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 28.08.2015 № 898. – Режим доступа: Система Гарант
3. О возможности использования светодиодного освещения [Электронный ресурс]: письмо Роспотребнадзора от 22.05.2017 N01/6355–17–23. – Режим доступа: Система Гарант



**Мельников  
Дмитрий Алек-  
сандрович.**

В 2001 г. окончил Омский государственный университет по специальности «Правоведение», с 2012 г. – сотрудник Министерства

энергетики Российской Федерации, в 2012–2017 г. – заместитель национального директора проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения»



# Светодизайн и текстиль

Ю.В. НАЗАРОВ, В.В. ПОПОВА

АНО ВО «Национальный институт дизайна»  
E-mail: nounid@mail.ru

## Аннотация

Инновационный текстиль – это новый и необычный вид продукции, сочетающий в себя информационные технологии и широкие художественные возможности. В статье рассматриваются три вида инновационного текстиля, выделенные по принципу функционального назначения: материалы, излучающие свет (электролюминесценция, светодиоды, в том числе и органические, волоконная оптика),

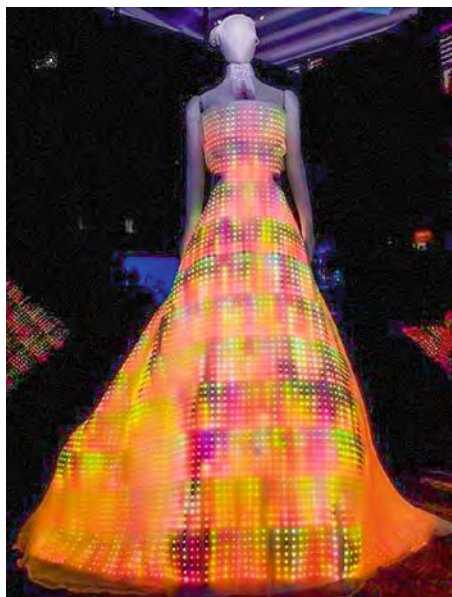


Рис. 1. Платье *Galaxy Dress*

материалы, формирующие изображение (ЖК-экраны, *OLED*, *LCD*) и материалы с эффектом люминесценции.

**Ключевые слова:** электронный текстиль, свет, светодиоды, *OLED*, инновационный текстиль, люминесценция, электролюминесценция.

Новый вид тканей, получивший название «электронный текстиль», является материалом, проводящим и одновременно потребляющим электрическую энергию. Он объединил в себе три ранее самостоятельные области: текстиль, электротехнику и электронику. Текстильный материал является основой, на которую монтируются разнообразные электронные устройства.

**Материалы, излучающие свет (электролюминесценция, светодиоды, в том числе и органические, волоконная оптика)**

В разработке и использовании светозлучающих материалов есть свои приоритеты и свои лидеры. Одна из наиболее распространённых интегральных технологий – использование светодиодов. Попытки применения данной технологии в производстве «умного» текстиля осуществлялись с начала XXI века. Наиболее яркую работу в подобном формате осуществ-

вили в 2009 году известные британские дизайнеры из лондонской студии *GuteCircute* (2004) – Франческа Розелла (*Francesca Rosella*) и Райан Генз (*Ryan Genz*). В качестве футуристической разработки ими было создано знаменитое «Галактическое платье» – *Galaxy Dress* (Рис. 1).

Идея английских дизайнеров состояла в размещении на поверхности шёлкового платья 24 тысяч светодиодов. Каждый гибкий светящийся элемент был вручную нашит на текстильную основу. По сути, платье было превращено в «костюм-дисплей». Для равномерного рассеивания света дизайнеры использовали четыре слоя ткани, состоявшей из шифона и органзы. Значительное количество источников света потребовало большого числа специальных компактных батарей от *iPod*, размещённых под кринолином.

Другой технологической ветвью светового дизайна является производство материалов на основе оптоволоконна. В 2008 году во Франции близ Парижа была создана ещё одна компания-лидер в области разработки светящихся материалов и тканей. Со дня основания она получила наименование *LumiGram*. Спектр выпускаемой компанией продукции весьма широк: сюда входит одежда, домашний текстиль, декоративные ткани для оформления интерьера и т.д. Предметом гордости французской компании является ткань, выпускаемая по оригинальной технологии *Luminous fabric* («светящаяся ткань»). При дневном освещении *Luminous fabric* принимает стандартный облик. В момент, когда освещение уменьшается, полноценно проявляются декоративные свойства

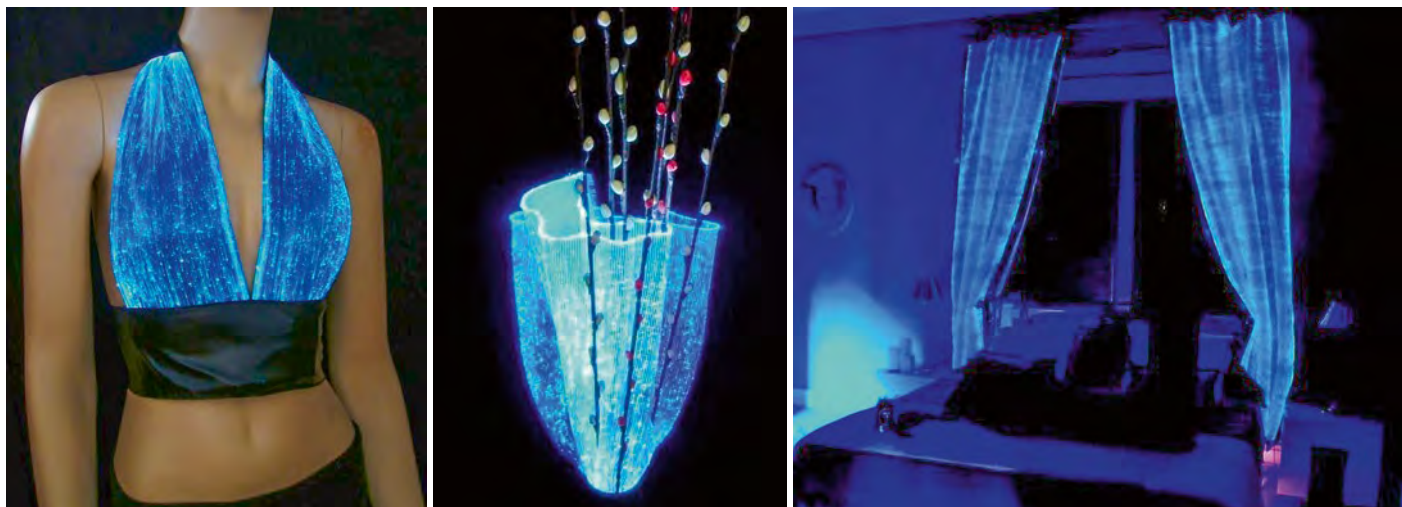


Рис. 2. Текстиль компании *LumiGram*

этой необычной ткани. Данный эффект основан на сочетании стандартных нитей и оптоволокна. Световые эффекты осуществляются с помощью светодиодов, работающих от миниатюрных контроллеров и чипов. Регулирующая система включает и выключает режим свечения, а также меняет его интенсивность и цвет. Электроэнергию ткань получает благодаря сменным компактным батареям U-3–5В, их мощности хватает как минимум на 12 часов непрерывной работы. Производители гарантируют потребителям непрерывную продолжительность эксплуатации СД в течение 50,0 тыс. часов. Технология *Luminous fabric* позволяет ткани равномерно и мягко светиться в темноте, что делает материал привлекательным для дизайнеров одежды и разработчиков интерьеров (Рис. 2).

Изделия можно целиком кроить из светящейся ткани, или монтировать световолокно в виде фрагментов, при этом композитный материал легко стирается и чистится, что немаловажно при его интенсивной эксплуатации.

Создатель одежды и профессор дизайна в Университете Провинции Квебек (*UQAM*, Монреаль, Канада) Инг Гао (*Ying Gao*) создала два уникальных платья, вращающихся вокруг фигуры и начинающих светиться, когда кто-либо смотрит на них. Разработчики использовали сенсорную систему **отслеживания** обнаружения человеческих глаз, одновременно контролирующую уровень освещённости платья. Сложный крой изделий, изготовленных из органзы, позволил разместить за верхним слоем ткани компактные электродвигатели, которые при подаче сигнала от сенсоров изменяют геометрию платьев. Одно пла-

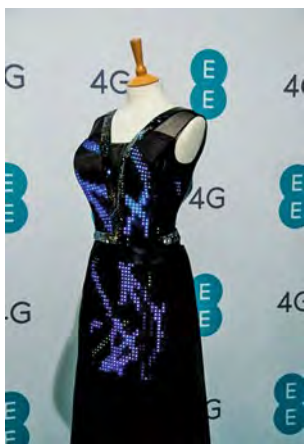


Рис. 5. Платье «Твиттер»

Рис. 3. Платье, «ловящее взгляды»



Рис. 4. Платье *Bubble*



тье покрыто волокнами фотолюминесцентной нити, напоминающими ткань типа «рюш». С другой стороны изделия находятся светящиеся нити, образующие базовый слой, разделённый на отдельные ленты, сходящиеся в верхней части платья (Рис. 3).

**Материалы, формирующие изображение (ЖК экраны, OLED, LCD, электролюминесцентные материалы)**

Концерн *Royal Philips Electronics* является безусловным лидером по инновационным разработкам в своей области. Концерн создал профильную компанию *Philips Design*, непосредственно связанную с созданием художественно-конструкторских разработок. В 2009 году специалисты *Philips Design* разработали оригинальную технологию *Lumalive*, позволяющую выводить на поверхность ткани различные светящиеся изображения. Данный эффект достигается за счёт гибких светодиодных дисплеев, интегрированных в структуру текстиля. Материал, созданный по технологии *Lumalive*, позволяет использовать его для изготовления одежды, мебели,

домашнего текстиля и аксессуаров. За счёт соединения с микропроцессорами поверхность ткани становится динамичной, меняет интенсивность изображения и насыщенность цвета.

Разработчики компании *Philips Design* в 2007 году под руководством Клайва ван Хеердена (*Clive van Heerden*) – руководителя проекта «*Skin*» и старшего директора по инновациям *Philips Design* в Эйндховене – разработали концептуальный проект «эмоционального» платья (Рис. 4).

Материал, из которого был изготовлен опытный образец, представляет собой двухслойную ткань. Внутренний слой изделия насыщен специальными контроллерами, отслеживающими эмоциональное состояние пользователя. На поверхность второго слоя с помощью гибких СД дисплеев выводится светящееся динамичное изображение. Характер проекции изменяется вслед за колебаниями настроения обладателя платья.

Для придания концертному наряду не только репрезентативных, но и информационных свойств, британская фирма «*Cute Circuit*», специализирующаяся на создании футуристической электронной одежды, разработала в 2012 году для североамериканской



Рис. 6. Фрагмент коллекции дизайнера Рами Кади

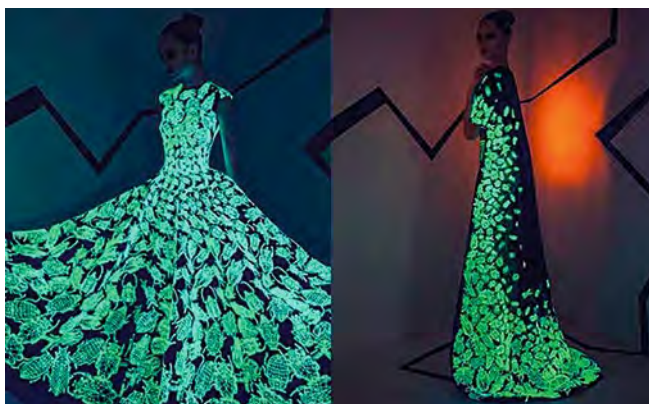


Рис. 7. Платья из светящегося шелка



Рис. 8. Светящаяся демисезонная куртка



певицы Николь Шерзингер уникальное платье под брендом «Твиттер» (Рис. 5).

Вновь, как и в «Galaxy Dress», в ткань сценического костюма, состоящую из французского шифона, дизайнеры вмонтировали множество светодиодов, соединив световые приборы с кристаллами «Swarovski». На поверхность платья с помощью технологии Bluetooth выводились приветствия от Николь, адресованные почитателям её творчества в любой части

Света. Затем ткань вновь превращалась в медиа-экран, создавая дополнительный зрелищный эффект во время шоу певицы.

Помимо лондонской студии «Cute Circuit» и знаменитой Philips Design в мире действует ещё несколько прогрессивных творческих коллективов, занимающихся цифровым дизайном. Среди них британцы Нэнси Тилбери (Nancy Tilbury) – дизайнер, основатель Studio XO, и Бенджамин Мэйлс (Ben Males) – программист.

## Материалы с эффектом люминесценции

Рами Кади (Rami Kadi) – современный кутюрье, увлеченный инновационными идеями. Своими уникальными произведениями он перебрасывает мосты между культурами, помогая встречаться Востоку с Западом. Благодаря своим коллекциям Кади отдает дань уважения «ручной работе», которую он особенно любит. Очередной его успех связан с демонстрацией оригинальной коллекции вечерних женских платьев «Осень/Зима 2015–2016» на неделе Haute Couture в Париже. Ткань изделий сверху была покрыта слоем люминофора, что позволяло изумительному рисунку, нанесённому на поверхность платья, отчётливо светиться в темноте под действием ультрафиолетовых ламп (Рис. 6).

Комментируя собственное производство, Кади подчеркнул, что в данной коллекции он пытался перебороть свой детский страх перед темнотой и назойливыми насекомыми. В результате автору удалось добиться художественного эффекта, сопоставимого с биолюминесценцией светлячков.

Исследования в области люминофорных материалов заинтересовали и профессоров ведущего японского университета из города Киото (Kyoto University). Двое учёных Технологического института, входящего в учебный холдинг Университета, – Тетсуя Иизука и Тосика Тамура – селекционировали необычный класс личинок шелкопрядов, генерирующих особую шёлковую нить, светящуюся по типу люминофора в темноте (Рис. 7).

Оттенки свечения разнообразны: оранжевый, зеленый, голубой, фиолетовый и белый. Подобный эффект был получен благодаря модификации особой тутового шелкопряда, которым имплантировали специальные гены, выделяющие флуоресцентные компоненты. По прогнозам, такая шёлковая ткань будет способна сохранять свои люминесцентные свойства до трёх лет. Задача учёных на ближайший период состоит в придании шёлковому полотну насыщенного оттенка при дневном свете и в повышении теплоустойчивости натуральной ткани после специальной обработки. Данная инновация имеет тенденцию к расширению сферы её практического использования.

Итальянский бренд *Stone Island*, являющийся одним из лидеров на рынке в области инновационных технологий, занялся выпуском курток, которые светятся в темноте (Рис. 8).

Впервые изделия были выпущены в 2013 году и продолжают изготавливаться и по сей день. Для их изготовления используются мембранные ткани, накапливающие световую энергию в дневное время суток и светящиеся в темноте. Технологи проламинировали материал изнутри и соединили его с нейлоновой сеткой.

Специальная технология под брендом «*Teflon*» позволяет особым способом обработать хлопковую основу ткани. После этого она становится воздухонепроницаемой, водоотталкивающей и отличается высокой устойчивостью к механическим нагрузкам. Благодаря лёгкой основе изделия имеют небольшой вес и практически несминаемы.

Технологические инновации, связанные со светотехникой и электрони-

кой, стали заметным явлением в развитии отрасли проектирования и производства текстильной продукции в конце XX – начале XXI века. Усилиями отдельных дизайнеров и дизайнерских фирм актуальные технические разработки и технологии успешно интегрируются с современной продукцией лёгкой промышленности и приносят прибыль компаниям, производящим привлекательные инновационные изделия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Braddock S. E. O'Mahony M. Techno Textiles: Revolutionary Fabrics for Fashion and Design / Thames & Hudson, 1999.– 192 p.: il.*
2. *Clarke S. Textile Design / Laurence King Publishers, 2011.– 224 p.: il.*
3. *McQuaid M. Extreme Textiles: Designing for High Performance / Thames & Hudson, 2005.– 224 p.: il.*
4. Philips [официальный сайт]. URL: <http://www.philips.com> (дата обращения: 9.01.2011).
5. Luminex [официальный сайт]. URL: <http://www.luminex.ru>.



**Назаров Юрий Владимирович**, доктор искусствоведения, профессор, ректор АНО ВО «Национальный институт дизайна», член-корреспондент Российской Академии художеств. В течении 25

лет возглавлял Союз дизайнеров РФ. Лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель искусств РФ, награжден орденом «За заслуги перед отечеством II степени». Область научных интересов: История, теория и методология дизайна как явления культуры

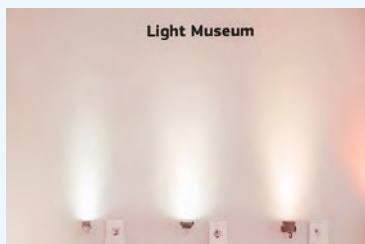


**Пова Виолетта Вячеславовна**, магистр в области дизайна, кандидат искусствоведения, преподаватель колледжа РГУ им. Косыгина А.Н.

#### *IntiLED* представил новое концептуальное пространство *Light Museum* на *Light+Building 2018*

На 10-й международной выставке *Light+Building 2018* компания «*IntiLED*» представила новую концепцию стенда – *Light Museum*, творческое пространство, где компания рассказала о своём понимании света, видении эстетики архитектурного освещения и инструментов для её создания. Рассматривая основные требования к архитектурно-художественному освещению современных мегаполисов, компания «*IntiLED*» при разработке светильников, в первую очередь, ориентируется на такие параметры, как качество и количество света, возможности управления, а также функционал.

Своё отражение все эти факторы нашли в компактном светильнике серии *EDGE* – эффективном решении для освещения оконных проёмов, ниш, порталов зданий. Специально разработанная высокоэффективная оптика полностью исключает нежелательные световые эффекты, формируя необходимый световой луч с минимальными потерями светового потока и высококачественным смещением красного, зелёного, синего и белого цветов.



«Узкий бин» (разброс длины волны 5 нм) и высокоточная калибровка светодиодов гарантирует максимально возможную повторяемость световых эффектов в рамках партии приборов. Ещё одна новинка, продемонстрированная в *Light Museum*, – встраиваемый линейный прожектор *LINE-ground* для интенсивного заливающего освещения фасадов с грунта. Изделие доступно в двух длинах, 70 и 100 см, со степенью защиты *IP67*.

На стенде «*IntiLED*» представил прожектор средней мощности *RAY*, универсальный для создания различных заливающих световых эффектов на фасаде и доступный в белом и *RGBW*-исполнениях.

Безусловно, одним из трендов современного освещения остаются медиафасады. Посетители выставки смогли оценить различные варианты решений динамического освещения от компании «*IntiLED*» с использованием серий *IntiPOINT*, *IntiTUBE* и *IntiDOT*. Всё оборудование управляется по протоколу *DMX-512* и может быть интегрировано в единую систему освещения фасада. Помимо серийных исполнений, в пространстве *Light Museum* были представлены кастомизированные решения, в том числе 7-градусный 5-ти канальный (*RGB*+янтарный+белый) прожектор серии *IntiSTAR*K, настенный прожектор *IntiTWIN* янтарного цвета свечения и *IntiSLIM* с удлинёнными кронштейнами.

<http://intiled.ru>  
30.03.2018

#### Компания *Philips Lighting* сменит название на *Signify*

Компания *Philips Lighting* объявила о смене названия с *Philips Lighting* на *Signify*. Новое имя подчёркивает новые возможности освещения. Свет сегодня стал умным, он может объединяться в системы, собирать и передавать данные.

Согласно условиям лицензионного соглашения с *Royal Philips*, компания продолжит выпускать продукцию под брендом *Philips* – марки, пользующейся доверием в светотехническом мире.

На протяжении более сотни лет со дня своего основания в 1891 году компания *Philips Lighting* была пионером в создании значимых достижений в области освещения. Сегодня она является лидером в сфере традиционных и светодиодных решений, «умных» систем освещения, и имеет самую большую сеть интегрированных световых точек в мире.

Смена названия *Philips Lighting* удовлетворяет условиям лицензионного соглашения с *Royal Philips* о фирменном наименовании, согласно которому компания должна сменить имя, если *Royal Philips* больше не владеет контрольным пакетом акций. В связи со сменой названия компании, предложение о внесении изменений в устав *Philips Lighting* будет представлено на ежегодном собрании акционеров, которое пройдёт 15 мая. Биржевой тикер *Philips Lighting* останется неизменным.

<http://www.lighting.philips.ru>  
16.03.2018



Ниже приведены пять статей, написанных авторами по материалами отрецензированных докладов на конференции Lux Europa 2017

## Проект *SenCity*: оценка восприятия интеллектуального освещения жителями «умных» городов<sup>1</sup>

А. ЛУУСУА<sup>1,2</sup>, Х. ПИХЛАДЖАНИЕМИ<sup>1,3</sup>, Е. ЮНТУНЕН<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Университет Оулу, Оулу, Финляндия; <sup>2</sup> E-mail: anna.luusua@oulu.fi; <sup>3</sup> E-mail: henrika.pihlajaniemi@oulu.fi; <sup>4</sup> Финский технический исследовательский центр VTT, Оулу, Финляндия.  
E-mail: eveliina.juntunen@vtt.fi

### Аннотация

В статье приведены результаты оценки пользователями трёх пилотных проектов освещения, реализованных в Финляндии. Два исследования связаны с использованием интеллектуального освещения разных маршрутов, причём особое внимание уделяется вопросам видимости, безопасности движения транспорта и пешеходов и ощущению безопасности. Третье исследование связано с более комплексной оценкой интеллектуального освещения применительно к «умным» городам. Методы оценки, свои для каждого из пилотных проектов, включают в себя вопросники, городские информационные панели, проводимые на месте интервью и наблюдения, оценочное зондирование и системный анализ данных. Обсуждается применимость использовавшихся методов с учётом как возможности их реализации, так и полученных результатов.

**Ключевые слова:** оценка, интеллектуальное освещение, метод, восприятие пользователем.

### 1. Введение

Интеллектуальное или «умное» освещение в ближайшем будущем охватит все стороны жизни городов. Помимо экономики энергии, правильно спроектированное интеллектуальное освещение способно улучшить многие составляющие городской среды [1]. Однако примеры реализации такого освещения всё ещё встречаются

довольно редко, и нам недостаёт знаний о восприятии его пользователями, которые можно было бы использовать при проектировании осветительных установок. Так что целью данного исследования было улучшение понимания всего многообразия восприятия интеллектуального освещения пользователями и разработка методов его оценки.

#### 1.1. Проект *SenCity*

Проект *SenCity*, направленный на создание основы для формирования городов нового типа, – это национальный научно-исследовательский проект, в котором участвуют финские города, компании и научно-исследовательские организации [2]. Целью проекта является использование системы освещения в качестве платформы (в виде интернета вещей) для реализации интеллектуального освещения и предоставления ориентированных на пользователя услуг в городских условиях. В рамках проекта в городах-участниках компаниями-участниками создаются пилотные осветительные установки со светодиодами (СД), наилучшим образом отвечающие потребностям конкретных городов. Участвующие в проекте научно-исследовательские организации обеспечивают согласованность пилотных проектов и их реализации, оценивают восприятие этих проектов пользователями и проводят технические оценки и тестирование.

В рамках проекта *SenCity* пилотные установки интеллектуального ос-

вещения были реализованы в шести финских городах в разных городских условиях. Исследования преследуют двоякую цель: изучение потребностей пользователей и их восприятия интеллектуального освещения и разработка и тестирование технических средств, необходимых для создания такого освещения. Собранные вместе, реализуемые в разных городах Финляндии пилотные проекты формируют «лабораторию» для разработки и тестирования инновационных решений. Все пилотные проекты связаны с различными сторонами применения интеллектуального освещения. Эти стороны включают в себя: интерактивное освещение и оказание компьютерно-информационных услуг; безопасность дорожного движения в жилых районах; интеллектуальное освещение и услуги для детей и молодёжи; оснащённые датчиками присутствия освещение велосипедных дорожек и пространства за пределами дорог. Все пилотные проекты должны быть реализованы в 2016–2018 гг. А так как эти проекты имеют разные цели и содержание, то проект *SenCity* предоставляет прекрасную возможность для проверки разных методов оценки освещения в реальных условиях.

#### 1.2. Цели и содержание

В статье описаны три исследования с указанием их целей и содержания, а также описанием применения интеллектуального освещения и методов, использовавшихся при оценке восприятия интеллектуального освещения пользователями. Методы оценки, свои для каждого из пилотных

<sup>1</sup> По материалам доклада на конгрессе Lux Europa-2017.  
Перевод с англ. Е.И. Розовского.

проектов, включают в себя вопросы, проводимые на месте интервью и наблюдения, оценочное зондирование (*evaluation probes*) и системный анализ данных. Обсуждается применимость выбранных и проверенных методов для каждого из пилотных проектов с учётом как их специфики, задач и особенностей потребителей, так и полученных результатов.

## **2. Оценка интеллектуального освещения городов — предшествующие исследования восприятия интеллектуального освещения пользователями**

До настоящего времени не проводились сколь-нибудь обширные обследования реальных городских установок интеллектуального освещения, так как во всех странах мира подобные светотехнические решения всё ещё находятся на стадии разработки и создания пилотных проектов. Однако некоторые исследования в этой области были проведены, и здесь можно привести несколько примеров. Исследования, связанные с адаптивным и интеллектуальным городским освещением, охватывали вопросы безопасности [3, 4], социальные моменты [5–7], значимость [6, 7], создаваемую атмосферу и эстетическое восприятие [5, 6], участие пользователей [6, 7] и средства связи [7]. Большая часть упомянутых вопросов имели большое значение для рекламы и были описаны, например, в [8, 9]. Используемые методы оценки включали, например, психофизический метод, основанный на вопросниках [3] и полупроизвольных интервью и наблюдениях [6].

Наши предшествующие исследования были связаны с осмыслением всех сторон адаптивного и интеллектуального освещения и охватывали все вышеупомянутые вопросы [1, 10]. В ходе наших натурных исследований, проводившихся в парках и на улицах городов, мы использовали качественные методы, применяемые при проведении этнографических исследований, которые включают в себя оценочный метод опроса пешеходов, то есть проводимые на месте наблюдения в совокупности с полупроизвольным интервьюированием прохожих [1, 10]. Помимо этого, мы использовали полупроизвольные интервью и опросники, представленные в электронном и печатном виде [11].

## **3. Оценка восприятия пилотных проектов *SenCity***

Здесь будут рассмотрены три пилотных проекта, два из которых связаны с интеллектуальным освещением различных зон движения, причём особое внимание будет уделено вопросам видимости, безопасности движения и чувству безопасности. Третий проект обеспечивает более комплексное представление об интеллектуальном освещении «умных» городов, отвечая на вопрос, чем освещение может помочь людям в осуществлении разных видов деятельности и какие компьютерно-информационные услуги осветительные установки могут оказывать потребителям. Проект *SenCity* ещё не завершён, как не завершены и связанные с его проведением оценки. Так что приведённые здесь описания и обсуждения методов в какой-то степени носят предположительный характер.

### **3.1. Проект 1: Интеллектуальное дорожное освещение жилого района г. Сало**

В рамках этого пилотного проекта интеллектуального освещения жилого района г. Сало исследовалось дорожное освещение, адаптирующееся как к наличию на дороге автотранспорта, так и к интенсивности движения на дороге. Восприятие этого освещения пользователями оценивалось при помощи вопросников, распространённых как среди жителей примерно 1000 домов, которые использовали рассматриваемую дорогу в своей повседневной жизни, так и среди других заинтересованных жителей города. Оценка производилась в три этапа, которые были связаны с различными стадиями реализации осветительной установки, гласностью проекта и с тем, какое количество информации о нём было опубликовано.

На первом этапе (12.01–05.02.2017) управление новым освещением осуществлялось традиционным образом (*управление, исходя из уровня естественного освещения*): в светлое время суток освещение выключалось, а в тёмное время суток оно включалось на 100 %. Датчик регистрировал пороговый уровень освещённости и автоматически включал и выключал освещение. На втором этапе (06.02–26.02.2017) это традиционное

управление освещением сохранялось, но к нему было добавлено *основанное на регистрации присутствия динамическое управление освещением*. Освещение регулировалось динамически, так что участок около автомобиля всегда освещался на максимальном уровне 100 %, тогда как освещение тех частей дороги, где не было транспорта, уменьшалось до 20 %. Ослабление и усиление освещения осуществлялось плавно в течение 3 с. Хорошо освещённый участок около автомобиля охватывал пять уличных светильников: один, который регистрировал автомобиль при помощи пассивного ИК датчика, и по два светильника до и после него. На третьем этапе (управление освещением осуществлялось начиная с 06.03.2017, вопросник распространялся в период 19.06–02.07. 2017) помимо первых двух способов регулирования использовался ещё и третий способ, основанный на измерении *интенсивности движения транспорта*. При этом нижний уровень освещения устанавливался в соответствии количеством транспорта, зарегистрированного на трассе. При большой интенсивности движения, например, в часы пик утром и вечером, на тех участках дороги, где не было транспорта, уровень освещения уменьшался до 70 %. При умеренной интенсивности движения этот уровень составлял 40 %, а ночью, когда интенсивность движения была минимальной, он уменьшался до 20 %.

На первом и втором этапах вопросники были практически одинаковыми. Перед тем, как ответить на вопросы, респондентов просили проехать по дороге в тёмное время суток при включённом освещении. Это была магистральная улица без тротуаров, так что мы не могли получить ответы от пешеходов и велосипедистов. Для справки мы спрашивали о том, как респонденты использовали эту дорогу, и об условиях, имевших на ней место в то время, когда они производили оценку освещения. Другие вопросы были связаны с общим впечатлением от освещения, цветом освещения, уровнем освещения поверхности дороги и окружающего пространства, равномерностью освещения и блёскостью. Кроме того, респондентов спрашивали, насколько хорошо они видели дорогу и других людей, движущихся по дороге или в её окрестностях. Они могли отметить хорошие стороны ос-



вещения и наличие беспокоящих их моментов, связанных с освещением. Ещё их спрашивали, заметили ли они какие-то изменения освещения в разное время суток или при движении по дороге. Людей, отвечавших на второй вопросник, спрашивали, заметили ли они какие-либо изменения, произошедшие после ответов на первый вопросник. Большинство вопросов были основаны на шкале от 0 до 5 с возможностью давать любые относящиеся к делу комментарии.

На двух первых этапах респондентам не предоставляли никакой информации о новом освещении, за исключением того, что оно осуществлялось при помощи СД и что управление освещением было реализовано зимой и весной. На этих этапах мы хотели получить данные, не подвергшиеся влиянию какой бы то ни было полученной ранее информации. На третьем этапе подход был совсем другим: респондентам была предоставлена подробная информация о всех трёх использовавшихся способах управления освещением. На этом этапе нас интересовало *отношение* респондентов к освещению вообще и к интеллектуальному освещению и трём исследовавшимся способам управления освещением в частности. Нам также интересовало влияние предоставленной информации на впечатление пользователей, их отношение и оценки. На этом этапе респондентов не просили прийти и посмотреть на освещение на месте. Так как на высоких широтах в летнее время светлый период длится очень долго, то при проведении третьего опроса всё наружное освещение было полностью выключено, за исключением нескольких часов глубокой ночью.

Для предоставления информации мы разработали экспериментальный вариант городской информационной панели (*Urban dashboard*) – городской монитор для г. Сало (*City Monitor for Salo*) [12]. На веб-странице панели были представлены динамическая визуализация освещения, масштабируемые графики, отражающие средние уровни освещения и потребления энергии, и текстовое описание всех разновидностей управления освещением (<http://sencity.cloudapp.net:8888/>). Визуализация адаптивного освещения была выполнена в виде динамической карты освещения, нанесённой на аэрофотографию жилого

района с динамически изменяющейся картиной распределения освещения вдоль дорог. Интерфейс был интерактивным, так что пользователи могли сами выбирать разные способы управления освещением и выделять различные временные интервалы выбранного ими дня. Данные пассивного ИК датчика, полученные в один из дней (08.02.2017), использовались для моделирования освещения применительно ко всем трём методам управления, что позволяло сравнивать энергопотребление [12]. Третий вопросник, как в электронном, так и в печатном виде, содержал ту же информацию, но в виде картинок или текста, без интерактивного или динамического моделирования.

### **3.2. Проект 2: Используемое датчики присутствия освещение маршрута движения пешеходов и велосипедистов в г. Хельсинки**

Второй проект связан с оценкой использующего датчики присутствия освещения маршрута движения пешеходов и велосипедистов в жилом районе *Siltasaari* г. Хельсинки. Цель этого ещё не завершённого пилотного проекта состоит в том, чтобы определить, какой тип управления освещением подходит для использующего датчики присутствия освещения маршрутов движения пешеходов и велосипедистов. При этом ставилась задача проектирования и испытаний оптимального освещения, которое обеспечивало бы сбережение большого количества энергии без ущерба для безопасности движения и ощущения безопасности пользователей в тёмное время суток. Испытываемая пилотная интеллектуальная система обладает способностью определять направление движения пользователей маршрутом. И управление освещением может быть организовано таким образом, чтобы использовать эту информацию, с тем чтобы пространство перед пешеходом или велосипедистом освещалось сильнее, чем за ним.

При проведении оценок предполагается исследовать и сравнить два варианта управления освещением с использованием датчиков присутствия. Один будет замечен для пользователей, а другой – нет, что достигается посредством изменения расстояния перед пользователем, на котором будет включено освещение. Освещение

будет уменьшаться до уровня 20 % на тех участках маршрута, на которых нет движения, и увеличиваться до 100 % в окрестности пользователя. Ослабление и усиление освещения осуществляется плавно в течение 3 с. Отзывы об освещении будут собираться на месте при помощи вопросника и коротких систематизированных интервью. Кроме того, вопросник будет распространён в расположенных вдоль маршрута жилых домах, из которых виден этот маршрут, с тем чтобы выяснить, как использующее датчики присутствия освещение воспринимается из жилых помещений. Например, могут ли динамические изменения освещения причинять беспокойство жильцам?

Для проверки своей методики мы провели предварительную оценку на протяжении двух ночей в начале апреля 2017 г. Для участия в эксперименте мы пригласили учащихся учебных заведений, расположенных неподалёку от экспериментального участка. Всего у нас было 10 участников, двое из которых учились в начальной и средней школах и пришли вместе с родителями. Опрос был организован таким образом, чтобы у нас было три человека с вопросниками, которые стояли в точке, расположенной в середине маршрута. Вначале мы провели короткое вводное собеседование с каждым из участников, в ходе которого собирали справочную информацию. Затем каждого из участников просили пройти до конца маршрута и обратно, после чего проводились первое интервью и первое заполнение вопросника. Затем участник доходил до второго конца маршрута и возвращался для второй части интервью и повторного заполнения вопросника. Каждый из участников шёл и опрашивался сам по себе. Управление освещением было организовано таким образом, чтобы на первом участке маршрута освещённый участок перед пешеходом был длиннее, чем на втором участке, и, соответственно, первый вариант управления освещением должен был быть незаметным, а второй – заметным. Оценки освещения выполнялись в период с 9 до 10 часов вечера, когда на маршруте было немного других пользователей, и уже было достаточно темно.

Вопросы касались общего впечатления от освещения, уровня освещения, возможного ощущения блёско-

сти, видимости поверхности дороги, заметности других людей и видимости окружающего пространства. Было ещё два вопроса, связанных с безопасностью, один из которых касался безопасности движения, а другой – ощущения безопасности. Большинство вопросов были основаны на шкале от 0 до 5 с возможностью давать любые относящиеся к делу комментарии. Кроме того, участников просили отметить хорошие стороны освещения и наличие беспокоящих их моментов, связанных с освещением. И наконец, их спрашивали, заметили ли они какие-либо изменения освещения при движении по маршруту, и при положительном ответе их просили описать эти изменения и указать, в какой точке они что-то заметили.

### 3.3. Проект 3: Интеллектуальное освещение променада в гавани г. Лахти с дополнительными услугами

В г. Лахти променада в озёрной гавани преобразуется в зону активного отдыха жителей с использованием интеллектуального освещения и оказанием компьютерно-информационных услуг. Пешеходный маршрут длиной 1,5 км простирается от Музыкального зала им. Сибелиуса в главной гавани до спортивно-ярмарочного центра на другом конце променада. Это зона, включающая в себя важную внутреннюю гавань, железнодорожную ветку и промышленные объекты, имеет интересную историю.

Новое интеллектуальное освещение этой зоны было создано в результате проведения ориентированных на пользователей проектно-конструкторских работ с участием представителей городской администрации, бизнеса, научно-исследовательских организаций и заинтересованных лиц. Описание работ и участников можно найти в [13]. Эта работа до сих пор продолжается, так как строительство этой зоны и её освещение ещё не завершены. В окончательном проекте используется интеллектуальное освещение, которое помимо энергоэффективности и безопасности при хорошей видимости оказывает стимулирующее и привлекающее воздействие и служит для реализации художественно оформленных информационных задач. Эта зона разделена на четыре подучастка, каждый со своим

подходом к освещению и оказанию услуг: активный пешеходный участок на берегу гавани, исторический пешеходный участок вдоль железнодорожного полотна между двумя озёрами, опасный участок пересечения с оживлённой дорогой и «задворки» с небольшими промышленными предприятиями в окрестности спортивно-ярмарочного центра. Конечное решение сочетает в себе равномерно распределённое освещение белыми СД, которое ослабляется при отсутствии движения на маршруте, с создающей определённую атмосферу игрой динамически управляемых световых точек на поверхности променада, которые могут иметь разные цвета, например, для передачи сообщений или создания сезонного настроения.

Осветительная установка будет сочетать в себе интеллектуальное СД освещение маршрута с пассивными ИК датчиками и создающими разные эффекты RGBW светильниками направленного света с цифровым управлением светом. Кроме того, в привлекательные деревянные осветительные опоры будут вмонтированы базовые станции для бесплатного подключения к WiFi, веб-камеры, громкоговорители и места для установки дополнительных датчиков. В результате этот комплекс будет основой для оказания интеллектуальных городских услуг. Первая стадия проекта должна быть завершена осенью 2017 г., а проект в целом – в течение 2018 г. Наше участие в проекте продолжится осенью 2017 г. и будет состоять в составлении вопросника касательно потребностей и предложений в части использования установки интеллектуального освещения для оказания компьютерно-информационных услуг.

Улучшение знания истории было оценено пользователями в ноябре 2016 г., после того, как идея о предоставлении информации об истории зоны посредством оказания компьютерно-информационных услуг перешла в стадию реализации. Оценка осуществлялась при помощи проводимых на месте полупроизвольных интервью и наблюдений. После того, как осветительная установка будет реализована и начнёт использоваться для оказания услуг, например, для реализации игры света и в информационных целях, будет проведена дополнительная оценка мнения пользователей. Кроме осуществляемых на месте

опросов и наблюдений, для этого подойдёт метод оценочного зондирования (*evaluation probes method*) [14], который был разработан нами ранее. Он создан по аналогии с методами культурного зондирования (*cultural probes methodology*), которые уже использовались применительно к ориентированному на потребителя освещению [13].

## 4. Обсуждение методов оценки

Сведения о процессе оценки реализованных пилотных проектов просуммированы в таблице, в которой приведены объекты исследований и оцениваемые параметры, методы оценки, положительные моменты, а также выявленные проблемы и предполагаемые пути их решения.

Оценки проектов, как предварительные, так и окончательные, оказались успешными во многих отношениях и обеспечили нас интересными данными. Кроме того, выявленные проблемы помогли нам усовершенствовать методику оценки. В случае проекта 1, *затрагивающего жителей микрорайона*, тесно связанных с зоной проведения исследований, мы смогли получить прекрасную выборку ответов заинтересованных респондентов. В случае проекта 3 у нас есть группа людей, которые были вовлечены в процесс создания ориентированной на потребителя осветительной установки. А в случае проекта 2 можно ожидать проблем с привлечением достаточного для формирования хорошей выборки количества участников, особенно если мы хотим опрашивать как пешеходов, так и велосипедистов. При этом будет применён подход, предусматривающий участие расположенных поблизости школ и местного центра обслуживания престарелых.

Проведение исследований в реальных условиях сопряжено с трудностями по причине *сложности внешних условий и многообразия получаемых впечатлений*, что затрудняет контроль условий проведения исследований и рассматриваемых ситуаций. Наш опыт говорит о том, что в этом случае хорошо подходят устойчивые к колебаниям входных параметров качественные методы исследований. Так в случае проекта 3 планируется применить *совокупность качественных методов*. Оценочное зондиро-



## Анализ проведённых исследований

Проект	Объекты и оцениваемые параметры	Методы	Положительные моменты	Проблемы	Пути решения
1	<u>Дороги:</u> – Зрительное впечатление. – Качество освещения. – Видимость. – Восприятие поведения освещения. – Безопасность дорожного движения. – Отношение и оценки. – Одобрение.	– Электронные и печатные вопросники. – Шкалы оценки и открытые вопросы. – Вождение и восприятие реальных дорог с двумя типами освещения. – Городская информационная панель для обмена информацией.	– Хорошая выборка: Этап 1: 130 чел. Этап 2: 106 чел. Этап 3: 52 чел. – Заинтересованные участники. – Обмен информацией был положительно оценен участниками. – Сочетание шкал оценки и комментариев. – Электронные и печатные вопросники.	Сопоставимость результатов: – погодные условия; – интенсивность движения транспорта. Техническая несовместимость с городской приборной панелью и моделированием.	– Погодные условия легче контролировать осенью. – Привязка времени наблюдения к периоду низкой интенсивности движения. – Разработка панели на основе полученных данных.
2	<u>Освещение на маршруте движения:</u> – Зрительное впечатление. – Качество освещения. – Видимость. – Безопасность движения людей. – Ощущение безопасности. – Беспокойство.	– Опрос, осуществляемый на месте при помощи вопросника. – Сравнение двух типов освещения на различных участках маршрута. – Вопросники, распространённые в близлежащих жилых домах.	– Сочетание шкал оценки и комментариев. – Заинтересованные участники. – Хороший выбор времени, приходящегося на поздний вечер.	– Привлечение достаточно для получения хорошей выборки количества участников (в исследованиях участвовали 10 чел.). – Влияние различий в контексте на результаты эксперимента. – Влияние реальных условий (ветра и растительности) на восприятие технических средств. – Восприятие поведения освещения.	– Сотрудничество с местными школами и центрами обслуживания престарелых, разные возрастные группы (учителя, учащиеся, родители, престарелые). – Один и тот же контрольный маршрут для всех типов освещения.
3	<u>Променады в гавани:</u> – Взаимодействие и участие. – Связь и информация. – Социальный опыт. – Атмосфера. – Безопасность движения. – Ощущение безопасности.	– Интервью в произвольной форме и наблюдение на месте, оценка накопленного опыта. – Оценочное зондирование. – Системный анализ данных. – Вопросник для потребителей услуг.	Характер участия и оценка улучшения знания истории: – Заинтересованные участники. – Контекстуальные знания и идеи.	– Неоднозначные условия окружающей среды и имеющийся опыт. – Технические проблемы опытной установки.	– Использование городских информационных панелей для обмена информацией и проведения оценок.

вание [14] позволяет участникам освоиться на месте и провести оценки в удобное для них время при отсутствии исследователей. С другой стороны, осуществляемые на месте интервью и наблюдения [1, 10], являющиеся более интерактивным способом получения информации, способны выявить и другие моменты, связанные с оценкой освещения. Тем не менее, в случаях проектов 1 и 2, мы предполагаем получить для последующего анализа некоторые количественные

данные и достаточно большую выборку. В этом случае *свободные комментарии оказались хорошим подспорьем для проводимых при помощи шкалы оценок* и были очень полезны при *интерпретации полученных результатов*, так как численные данные сами по себе могут быть истолкованы превратно. Так было в случае проекта 2, когда полученные комментарии позволили понять, что различия двух частей маршрута повлияли на ответы сильнее, чем различия в освеще-

нии. Это обстоятельство заставило нас внести изменения в отчёт о проведении исследований.

Использование *как печатных, так и электронных вопросников* оказалось удачным решением, так как это позволило *лицам разного возраста и с разными техническими возможностями* принять участие в проведении исследований. В случае проекта 1, *предоставление информации* об интеллектуальном освещении было высоко оценено многими респонден-

тами, и они положительно откликнулись на возможность участия в процессе освещения их родного города. Однако несмотря на положительную оценку предоставления информации, было сделано несколько критических замечаний относительно некоторых особенностей информационных панелей, а в ряде отзывов отмечалось, что эта информация оказалась бесполезной. В дальнейшем необходимо будет решить как *проблему технических барьеров*, так и *вопросы применимости информационных панелей*. Тем не менее, подобный *двунаправленный процесс получения знаний* очень важен для проектно-конструкторских работ, выполняемых при активном участии общественности, и является хорошим способом вовлечения людей в проведение исследований и развития районов их проживания.

Проект *SenCity* финансируют Финское агентство по финансированию инновационных проектов (*TEKES*), города-участники (Хельсинки, Лахти, Оулу, Раахе, Сало и Тампере), компании (*C2 Smartlight, Elisa, GreenLED, Misal, Nokia и Valopaa*) и научно-исследовательские организации (Университет Оулу и Финский технический исследовательский центр *VTT*). Авторы благодарят С. Коуренен (*S. Kourunen*), Т. Йостерлунд (*T. Österlund*), Т. Пуринкорва (*T. Pukinkorva*) и Ле Анх Хай (*Lê Anh Huy*) из Университета Оулу, Е.-М. Саряноя (*E.-M. Sarjanoja*), Р. Ваараниemi (*R. Vääräniemi*), Дж. Ескели (*J. Eskeli*), М. Хаккарайнен (*M. Hakkarainen*) и П. Суорса (*P. Suorsa*) из *VTT* и С. Хуусконен (*S. Huuskonen*) из Университета Аалто за их вклад в реализацию пилотных исследовательских проектов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pihlajaniemi, H. Designing and experiencing adaptive lighting. Case studies with adaptation, interaction and participation // Doctoral thesis, University of Oulu, Acta Universitatis Ouluensis, H3 Architectonica, 2016 [Online]. Available: <http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-952-62-1090-2>.

2. Pihlajaniemi, H., Juntunen, E., Luusua, A., Tarkka-Salin, M., Juntunen, J. SenCity – Piloting Intelligent Lighting and User-Oriented Services in Complex Smart City Environments // Proc. of eCAADe.– 2016. – P. 669–680.

3. Viliūnas, V. et al. Subjective evaluation of luminance distribution for intelligent outdoor lighting // Lighting Research & Technology. 2014. – Vol. 46, No. 4. – P. 421–433.

4. Haans, A., de Kort, Y.A. Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape // Journal of Environmental Psychology.– 2012. – Vol. 32, No. 4. – P. 342–352.

5. Casciani, D. Urban social lighting. Exploring the social dimension of urban lighting for more sustainable urban nightscapes // Doctoral dissertation. Politecnico di Milano, Dipartimento di design, 2014.

6. Poulsen, E.S., Morrison, A., Andersen, H.J., Jensen, O.B. Responsive lighting: the city becomes alive // Proc. of the 15<sup>th</sup> Int. Conf. on Human-computer interaction with mobile devices and services. 2013, ACM. – P. 217–226.

7. Seiting, S. Liberated pixels: alternative narratives for lighting future cities // Doctoral dissertation, MIT, 2010.

8. Wiethoff, A., Gehring, S. Designing interaction with media façades: a case study // Proc. of the Designing Interactive Systems Conf. 2012. ACM. – P. 308–317.

9. Fritsch, J., Brynskov, M. Between experience, affect, and information: Experimental urban interfaces in the climate change debate // In: From Social Butterfly to Engaged Citizen: Urban Informatics, Social Media, Ubiquitous Computing, and Mobile Technology to Support Citizen Engagement. Eds. M. Foth, L. Forlano, C. Satchell, M. Gibbs. The MIT Press, 2011. – P. 115–134.

10. Luusua, A., Pihlajaniemi, H., Ylipulli, J. Northern Urban Lights: Emplaced Experiences of Urban Lighting as Digital Augmentation // In: Architecture and Interaction. Eds. N. Dalton, H. Schnädelbach, M. Wiberg, T. Varoudis. – Human-Computer Interaction Series, Springer, Cham, 2016. – P. 275–297 [Online]. Available: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30028-3\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30028-3_13).

11. Pihlajaniemi, H., Luusua, A., Teirilä, M., Österlund, T., Tanska, T. Experiencing participatory and communicative urban lighting through LightStories // Proc. of the 4<sup>th</sup> Media Architecture Biennale Conf., 2014. Participation, ACM. – P. 65–74.

12. Pihlajaniemi, H., Luusua, A., Sarjanoja, E.-M., Vääräniemi, R., Juntunen, E., Kourunen, S. SenCity City Monitor as a platform for user involvement, innovation and service development // Proc. of eCAADe.– 2017. – В печати.

13. Pihlajaniemi, H., Huuskonen, S., Lê Anh, H., Juntunen, E. Smart Lighting for Urban Experiences – Engaging Users for Better Services // Proc. of PLDC6<sup>th</sup> Professional Lighting Design Convention – 2017. – В печати.

14. Luusua, A., Ylipulli, J., Jurmu, M., Pihlajaniemi, H., Markkanen, P., Ojala, T. Evaluation probes // Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2015, New York, NY, USA, ACM Press.

15. Gaver, W., Dunne, T., Pacenti, E. Cultural probes // Interactions.– 1999. – Vol. 6, No. 1. – P. 21–29.



**Анна Луусуа (Anna Luusua),** Dr. Tech (2016 г.), архитектор. Научный сотрудник Школы архитектуры Университета Оулу. Область научных интересов: участие пользова-

телей в проектировании, их восприятие и способы их участия, градостроительство



**Хенрика Пихладжаниеми (Henriikka Pihlajaniemi),** M. Sc. (архитектура), D. Sc. (Tech.) (2016 г.). Читает лекции по архитектурному и городскому освещению

в Школе архитектуры Университета Оулу. Консультирует по вопросам проектирования освещения в своём архитектурном офисе M3 Architects. Область научных интересов: адаптивное и интеллектуальное освещение, участие пользователей в проектировании и их восприятие



**Евелина Юнтунен (Eveliina Juntunen),** D. Sc. (Tech.) (2014 г.).

Старший научный сотрудник Финского технического исследовательского центра VTT. Область научных ин-

тересов: внедрение интеллектуальных систем управления и управление тепловым режимом применительно к освещению светодиодами



# О влиянии различных зон поля зрения на не связанное с формированием изображения воздействие света<sup>1</sup>

К. БРОЖИО\*, С. ВЁЛКЕР, М. КНООП, М. НИДЛИНГ

Берлинский технический университет, Берлин, Германия

\* E-mail: kai.broszio@tu-berlin.de

## Аннотация

Результаты исследований говорят о том, что ганглионарные светочувствительные клетки сетчатки (*ipRGC*) распределены по сетчатке неравномерно или имеют разную чувствительность. Тем не менее, в большинстве исследований в области не связанного с формированием изображения (*non-image forming*) воздействия света для определения количества света, попадающего в глаз, используются такие интегральные величины, как освещённость или взвешенная применительно к формированию мелатонина облучённость. В этой статье представлен теоретический подход к определению эффективного потока излучения применительно к возбуждению *ipRGC*, в котором учтена пространственная неравномерность чувствительности клеток. Исследования чувствительности сетчатки производятся редко и не являются всеобъемлющими, однако их методику легко можно применить в условиях, когда области с определёнными уровнями чувствительности заданы. Предварительные результаты показывают, что при одинаковых значениях вертикальной освещённости и одинаковых спектральных распределениях энергии излучения типичные системы освещения офисов могут оказаться менее эффективными в части не связанного с формированием изображения воздействия света, чем варианты с повышенной яркостью в центральной части поля зрения. Это может послужить объяснением неоднозначности результатов исследований не связанного с формированием изображения воздействия света, даже если эти исследования проводились в одинаковых условиях освещения.

**Ключевые слова:** освещение нижней части сетчатки, освещение меди-

альной части сетчатки, не связанное с формированием изображения воздействие света, освещение офисов, чувствительность сетчатки.

## 1. Введение

С момента открытия в 2002 г. ганглионарных светочувствительных клеток сетчатки (*ipRGC*) при проведении исследований в области освещения и проектировании осветительных установок всё большее внимание уделяется не визуальному (*non-visual*) и не связанному с формированием изображения (*NIF – non-image forming*) воздействию света. При этом освещение используется, например, для увеличения бодрости или качества сна, для уменьшения десинхронизации циркадных ритмов или для лечения сезонной депрессии. Большая часть исследований посвящена зависимостям воздействия от уровня, спектрального состава, продолжительности и временного режима освещения. Не главной, но также заслуживающей внимания представляется зависимость воздействия от направленности излучения и местоположения источника света, так как светочувствительностью обладает только небольшая (менее чем 1 %) часть ганглионарных клеток сетчатки [1], которые распределены по сетчатке неравномерно [2].

Только несколько публикаций, посвящённых влиянию пространственного распределения света, включают в себя описание освещения, реализованного в экспериментальной установке. Большинство этих исследований были проведены в период между 1992 и 2005 гг. (см. обзор в [3]). Условия освещения сильно изменялись от одного исследования до другого. Вертикальная освещённость на уровне глаз изменялась от 5 до 1000 лк, цве-

товая температура – от тепло-белого до холодно-белого света, создаваемого полихроматическими источниками света: люминесцентными лампами, галогенными лампами накаливания или светодиодами. Частичное освещение сетчатки осуществлялось благодаря использованию световых коробов, установленных в заданном месте поля зрения, или применению модифицированных щитков для глаз при наблюдении равномерно освещённого полукупола. Все исследования проводились в ночное время, иногда в период между 22:00 и 3:30. Условия освещения сохранялись на протяжении 60–240 мин, а для изучения влияния размеров и/или положения источника света использовалось подавление выработки мелатонина. Количество испытуемых изменялось от 6 до 32, причём возраст испытуемых также был разным.

Полученные результаты говорят о том, что большие источники света эффективнее маленьких [4]. Биноклярное воздействие света приводит к большему подавлению выработки мелатонина, чем монокулярное [5, 6]. Кроме того, результаты исследований показывают, что для людей освещение медиальной (приносковой) части сетчатки (*nasal exposure*) более эффективно, чем освещение латеральной (привисочной) части сетчатки (*temporal exposure*) [7, 8]. Похоже, что освещение нижней части сетчатки (*inferior exposure*) оказывает большее воздействие, чем освещение её верхней части (*superior exposure*) [9–11]. Эти результаты были частично подтверждены в [12]. Освещение верхней части сетчатки тепло-белым светом (800 лк, 2666 К) привело к уменьшению и задержке подавления выработки мелатонина по сравнению с освещением нижней части сетчатки при том же уровне освещённости глаза. Однако при использовании холодно-белого света (6060 К) такие же уровни освещённости приводили к сравнимому не связанному с формированием изображения воздействию света при освещении как нижней, так и верхней частей сетчатки.

Учитывая вышесказанное, возникают сомнения в том, что уровни освещённости или уровни меланической облучённости (*melanopic irradiance*), используемые в настоящее время при исследованиях в области не связанного с формированием изображения воздействия света, под-

<sup>1</sup> По материалам доклада на конгрессе *Lux Europa-2017*.

Перевод с англ. Е.И. Розовского.

ходят для проведения сравнительных оценок этого воздействия, по причине того, что это интегральные параметры, измерение которых производится применительно ко всему полю зрения. Освещённость на сетчатке позволяет учесть анатомию человека [13], и её можно измерять при помощи настроенных датчиков освещённости (например, [14, 15]). Тем не менее, может потребоваться более чёткое разбиение поля зрения на зоны. И хотя количество проведённых исследований слишком мало для определения участков с разной чувствительностью *ipRGC*, в [16] имеются предложения по примерному отождествлению нечувствительных участков и участков с низкой и хорошей чувствительностью (рис. 1).

В данной работе была поставлена цель исследования пространственно-разрешённого эффективного потока излучения, стимулирующего *ipRGC* при разном пространственном распределении падающего света и постоянном уровне полной (для всего поля зрения) освещённости глаза.

## 2. Методика

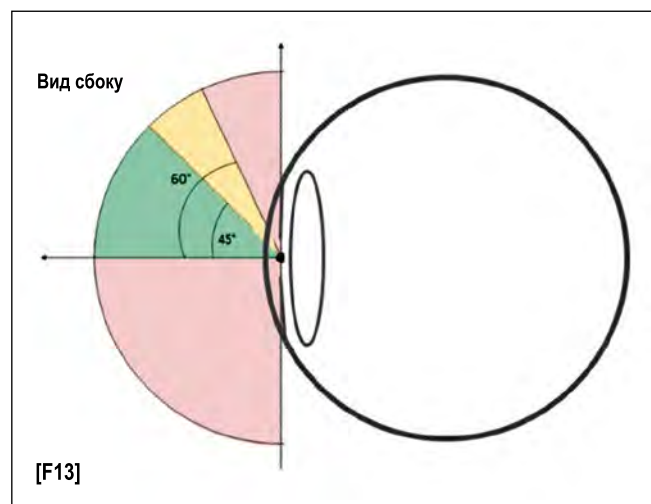
В данной работе проведена теоретическая оценка влияния повышенной чувствительности при освещении медиальной и нижней частей сетчатки. Для этого была разработана методика оценки вклада различных зон поля зрения в полную вертикальную освещённость глаза. Распределения яркости преобразовывались в матрицы, содержащие соответствующие разным пикселям значения яркости. Используя матрицу, содержащую угол раскрытия  $\omega_s$ , и дополнительную матрицу, содержащую соответствующие каждому из пикселей значения угла наклона  $\theta$ , можно рассчитать вклад различных зон в полную освещённость. В общем случае применимо следующее выражение:

$$E_p = \int L(\vartheta, \varphi) \cos(\theta) d\omega_s, \quad (1)$$

где  $E_p$  – освещённость,  $L$  – яркость пикселя, положение которого задаётся углами  $\vartheta$  и  $\varphi$ ,  $\omega_s$  – телесный угол,  $\theta$  – угол наклона.

Результирующая матрица содержит вклад каждого из пикселей в полное значение вертикальной освещённости. Так что имеется возможность

Рис. 1. Аппроксимация пространственной чувствительности, обусловленной плотностью или чувствительностью *ipRGC*, полученной в ряде исследований (на основе [16]), участки со слабой и хорошей чувствительностью к не связанному с формированием изображения воздействию света обозначены, соответственно, жёлтым и зелёным цветом)



выделить представляющие интерес зоны поля зрения и рассчитать освещённость на уровне глаз, создаваемую каждой из этих зон.

### 2.1. Помещение для испытаний

В этой работе использовалось помещение для проведения испытаний кафедры светотехники Берлинского технического университета, освещённое светильниками с СД и имеющее типичные для офисов размеры (ширина 5 м, длина 4 м и высота 2,8 м). Это помещение оборудовано 1470-ю индивидуально управляемыми панелями с СД размером 18 x 18 см каждая, которые закрыты рассеивающим свет материалом. Каждая панель включает в себя 36 СД средней мощности холодно-белого или тепло-белого света. Значения коррелированной цветовой температуры ( $T_u$ ) расположенных за рассеивающим материалом панелей измерялись при помощи спектрометра *Specbos 1201* компании *Jeti Technical Instruments*. Значения  $T_u$  у СД холодно-белого и тепло-белого света были равны, соответственно, примерно 5900 и 2800 К. Смешанный свет имел  $T_u$  от 4400 до 4500 К, в зависимости от реализуемой сцены освещения. Для обеспечения хорошей равномерности и хорошего смешивания света как при совместном, так и при раздельном использовании, панели с СД холодно-белого и тепло-белого света были расположены в шахматном порядке. При помощи этой установки можно задать конкретное распределение яркости разных участков стен и потолка и разные значения  $T_u$ . Двенадцать светильников, расположенные в средней части потолка, были предназначены

для оптимизации не связанного с формированием изображения воздействия света, обеспечивая возможность изменения  $T_u$  в диапазоне от 2000 до 20000 К.

### 2.2. Условия проведения испытаний

В данной работе для получения одного и того же, равного  $500 \pm 2,5$  лк, значения вертикальной освещённости на уровне глаз были реализованы восемь распределений яркости, часть из которых была очень похожа на имеющее место при освещении офисов распределения, а часть сильно отличалась от них. Освещённость измеряли на высоте 1,2 м от уровня пола люксметром *MX-ELEKTRONIK Mini-Lux* с кремниевой фотометрической головкой с коррекцией под  $V(\lambda)$  и косинусной коррекцией. Дополнительно при помощи люксметра с косинусной коррекцией *LMT Pocket-Lux 2* измерялась горизонтальная освещённость на высоте 0,85 м в заданной точке стола.  $T_u$  освещения лежала в пределах от 3900 до 4900 К.

### 2.3. Измерения и обработка полученных результатов

Рассматриваемый в данной работе параметр – распределение яркости для восьми выбранных сцен (рис. 2) – измерялся при помощи фотояркомера *LMK mobile advanced* компании *TechnoTeam GmbH*, в котором используются камера *CANON EOS550D* и 4,5-мм объектив типа «рыбий глаз» с углом охвата  $140^\circ$ . Для каждого варианта были получены HDR-изображения яркости.



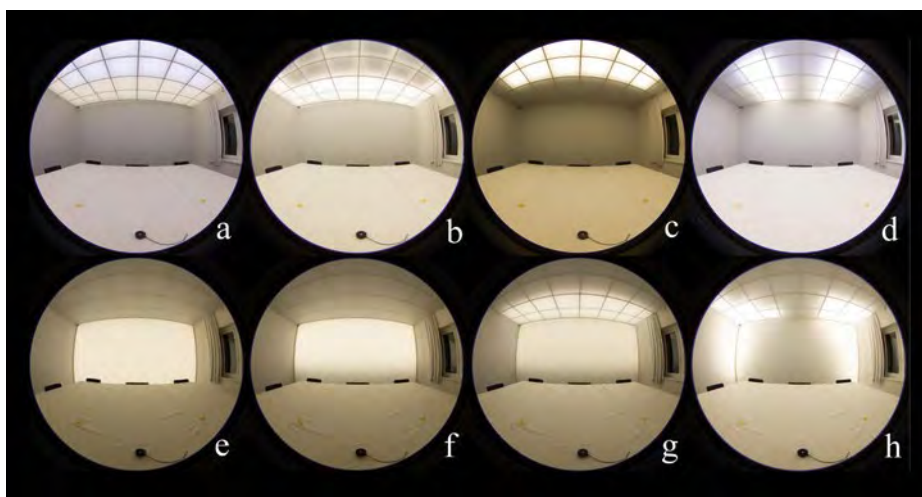


Рис. 2. Освещаемые сцены (типичное (a – d) и нетипичное (e – h) освещение офиса)

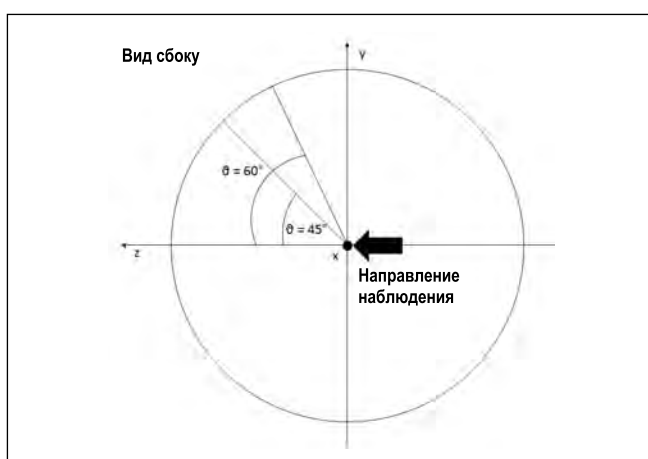


Рис. 3. Схема углов в поле зрения (на основе [13, 16])

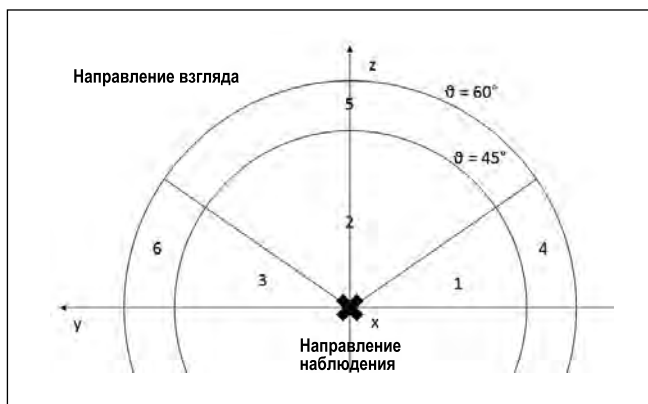


Рис. 4. Зоны поля зрения

Исходя из приведённой в [16] аппроксимации пространственной чувствительности сетчатки (рис. 1) и анатомических ограничений (например, экранирования света носом), были выбраны следующие зоны, позволяющие продемонстрировать потенциальные возможности и последствия пространственного разделения падающего на глаза света (рис. 3 и 4);  $\vartheta = (0^\circ, 45^\circ)$  и  $(45^\circ, 60^\circ)$ ;  $\varphi = (0^\circ, 55^\circ)$  и  $(0^\circ, -55^\circ)$  (по обе стороны от направления взгляда).

Свет, поступающий из зоны 1 (рис. 4), освещает только медиальную часть сетчатки правого глаза. Свет из зоны 2 освещает нижние части сетчаток обоих глаз, тогда как свет из зоны 3 освещает медиальную часть сетчатки левого глаза. Считается, что поступающий из этих зон свет оказывает существенное не связанное с формированием изображения воздействие, тогда как зоны, которым соответствуют углы  $\vartheta$ , лежащие в интервале между 45 и 60°, оказывают слабое воздей-

ствие, а при больших углах такое воздействие отсутствует [16]. Более того, зона 2 представляет особый интерес, так как было установлено, что одновременное освещение сетчаток обоих глаз приводит к повышенному подавлению выработки мелатонина [5, 6].

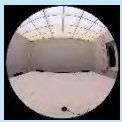
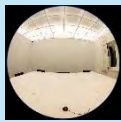
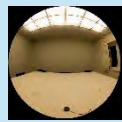
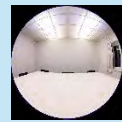
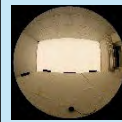

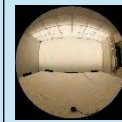
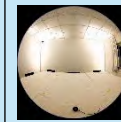






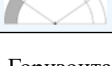
### 3. Результаты

Разработанная методика была использована применительно к восьми сценам освещения, которые показаны на рис. 2. Для каждой из зон поля зрения был рассчитан её вклад в полную освещённость. Полученные результаты, которые для большей наглядности выражены в процентах от измеренного значения вертикальной освещённости, приведены в табл. 1. Сценам освещения a – d, в которых свет поступает, главным образом, с потолка, соответствуют, в общем случае, низкие результаты. Например, вклад зоны с  $\vartheta = (0^\circ, 45^\circ)$  в общую освещённость составляет при этом всего лишь от 10 до 26 %. Если расширить зону до  $\vartheta = (0^\circ, 60^\circ)$ , то её вклад составит до 44 %. С другой стороны, сценам освещения e – h, в которых свет поступает, главным образом, от противоположной стены, соответствуют, в общем случае, относительно высокие результаты. Так, вклад зоны с  $\vartheta = (0^\circ, 45^\circ)$  в общую освещённость составляет при этом от 35 до 51 %, а вклад расширенной зоны с  $\vartheta = (0^\circ, 60^\circ)$  доходит до 58 %. Если же в соответствии с результатами, полученными в [5, 6], увеличить вес зоны 2, то различия между сценами a – d и сценами e – h будет даже большими.

### 4. Выводы и обсуждение

Разработан основанный на использовании фотояркомера метод оценки пространственно-разрешённого вклада разных зон поля зрения в общую освещённость. Эти зоны были выбраны таким образом, чтобы соответствовать освещению нижних медиальных частей сетчатки правого и левого глаза и одновременному освещению нижних половин сетчаток обоих глаз. Были исследованы типичные и нетипичные сцены освещения офисов. Полученные результаты говорят о том, что более стандартные схемы освещения офисов приводят к слабому освещению упомянутых частей сетчатки. В то же время, освещение, осуществ-

Значения освещённости

Зоны		Освещаемая сцена							
									
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
Освещённость	$E_v$ , лк	506	511	504	500	497	500	507	496
	$E_h^*$ , лк	657	694	619	640	263	276	329	338
	$E_v^{**}$ , %	2,8	3,2	2,0	2,8	9,5	10,6	7,5	8,5
	$E_v^{**}$ , %	15,1	19,2	5,6	17,3	24,3	29,2	28,6	19,1
	$E_v^{**}$ , %	2,8	3,1	1,9	2,6	9,9	11,1	7,7	7,3
	$E_v^{**}$ , %	20,7	25,5	9,5	22,6	43,7	50,8	43,8	34,9
	$E_v^{**}$ , %	1,5	1,7	1,0	1,3	1,2	1,3	1,5	2,1
	$E_v^{**}$ , %	14,0	11,0	18,6	18,4	4,2	4,2	9,0	10,5
	$E_v^{**}$ , %	1,5	1,7	0,8	1,2	1,6	1,6	1,8	5,4

\* Горизонтальная освещённость на высоте 0,85 м.

\*\* Вертикальная освещённость в процентах от измеренного люксметром значения.

ляемое противоположной стеной, приводит к значительному увеличению освещения этих частей сетчатки. При сходных спектральных распределениях энергии излучения и значениях вертикальной освещённости, типичные установки искусственного освещения офисов будут оказывать более слабое не связанное с формированием изображения воздействие, чем установки, обеспечивающие более высокую яркость в центральной части поля зрения, как это имеет место в случаях помещений с естественным освещением или при использовании бра, заливающих стены светом.

Следует отметить, что только в нескольких исследованиях были продемонстрированы различия в подавлении выработки мелатонина при освещении верхних и нижних частей сетчатки, и ещё меньше исследований продемонстрировали различия, обусловленные освещением медиальной и латеральной частей сетчатки. В настоящее время нельзя точно выделить конкретные части сетчатки и определить их весовой вклад в общее воздействие света. При этом, все исследования проводились в ночное время

с целью определения результирующего уменьшения уровня мелатонина. В то же время, в [17] было показано, что подавление выработки мелатонина само по себе не приводит к уменьшению сонливости, если сетчатка освещена лишь частично. Кроме того, эти результаты нельзя непосредственно распространить на дневное время. Днём механизм не связанного с формированием изображения воздействия света ещё не вполне понятен. Считается, что колбочки, свет на которые попадает, главным образом, из центральной части поля зрения, также влияют на не связанное с формированием изображения воздействие света [18]. Так что может оказаться, что, по меньшей мере, в условиях дневного зрения, следует учитывать распределение и спектральную чувствительность не одного, а нескольких рецепторов.

С этой точки зрения, описанную методику можно считать теоретическим подходом. Тем не менее, она представляет интерес, так как позволяет объяснить, почему в некоторых исследованиях было выявлено не связанное с формированием изображения воздействие света, а в некоторых –

нет, хотя использовавшиеся в них значения вертикальной освещённости и спектральные распределения энергии излучения источников света были схожими. Для сравнения этих исследований и введения поправок на влияние разных участков сетчатки и их чувствительностей, предлагается рассмотреть возможность учёта местоположения источника света (например, при помощи прослеживания хода лучей, как это сделано в [19, 20]).

В данном исследовании спектральное распределение энергии излучения не учитывалось. В дальнейшем предполагается проведение лабораторных и полевых исследований влияния пространственного и спектрального распределения излучения с использованием фотояркомера, включающего в себя колориметрические светофильтры и меланопический светофильтр (*melanopic filter*), что позволит оценить влияние пространственной неравномерности чувствительности на не связанное с формированием изображения воздействие света при типичных условиях освещения и непостоянстве спектрального распределения энергии излучения.



Авторы выражают искреннюю благодарность Фредерику Рудаускому (*Frederic Rudawski*) из Берлинского технического университета за разработку программного обеспечения, Александру Ли (*Alexander Lee*) из Берлинского технического университета за поиск литературных источников и Тобиасу Поршу (*Tobias Porsch*) из компании *TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH* за предоставление характеристик фотоаппарата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Über die nicht-visuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen // Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Berlin, vol. 1, 2015.
2. Schierz, C. Zur Photometrie nichtvisueller Lichtwirkungen // In Proc. of Symposium «Licht und Gesundheit», 2008. – P. 112–123.
3. Teikari, P. Spectral modulation of melatonin responses: role of melatonin bistability in pupillary light reflex // Ph.D. dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I, 2012.
4. Novotny, P., Paulick, P., Schwarz, M.J., Plischke, H. The Solid Angle of Light Sources and Its Impact on the Suppression of Melatonin in Humans // In Proc. 2013 Human-Computer Interaction. Towards Intelligent and Implicit Interaction Conf., 2013. Lecture Notes in Computer Science, Vol 8008. Ed. Kurosu. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. – P. 454–463.
5. Wang, J.Y., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Brainard, G.C. Ocular regulation of the human pineal gland: The significance of total retinal exposure for melatonin suppression // In: Biologic Effects of Light, Ed. M.F. Holick and E.G. Jung. Boston, MA: 1998; Proceedings of a Symposium Basel, Switzerland, November 1-3, 1998. Springer US. – P. 367–374.
6. Brainard, G.C., Rollag, M.D., Hanifin, J.P. Photic regulation of melatonin in humans. Ocular and neural signal transduction // Journal of Biological Rhythms.– 1997. – Vol. 12. – P. 537–546.
7. Visser, E.K., Beersma, D.G.M., Daan, S. Melatonin Suppression by Light in Humans Is Maximal When the Nasal Part of the Retina Is Illuminated // Journal of Biological Rhythms.– 1999. – Vol. 14. – P. 116–121.
8. Rüger, M., Gordijn, M.C.M., Beersma, D.G.M., de Vries, B., Daan, S. Nasal versus Temporal Illumination of the Human Retina: Effects on Core Body Temperature, Melatonin, and Circadian Phase // Journal of Biological Rhythms.– 2005. – Vol. 20. – P. 60–70.
9. Lasko, T.A., Kripke, D.F., Elliot, J.A. Melatonin Suppression by Illumination of Upper and Lower Visual Fields // Journal of Biological Rhythms.– 1999. – Vol. 14. – P. 122–125.
10. Smith, J.S., Kripke, D.F., Elliot, J.A., Youngstedt, S.D. Illumination of upper and middle visual fields produces equivalent suppression of melatonin in older volunteers // Chronobiol-

ogy International.– 2002. – Vol. 19. – P. 883–891.

11. Glickman, G., Hanifin, J.P., Rollag, M.D., Wang, J., Cooper, H., Brainard, G.C. Inferior Retinal Light Exposure Is More Effective than Superior Retinal Exposure in Suppressing Melatonin in Humans // Journal of Biological Rhythms.– 2003. – Vol. 18. – P. 71–79.

12. Piazena, H., Franke, L., Thomsen, B., Kamenzky, I., Uebelhack, R., Völker, S. Melatonin suppression mit Weißlicht-LEDs – erste Ergebnisse // In Proc. of 8<sup>th</sup> Symposium Licht und Gesundheit, 2014. – P. 39–52.

13. Schierz, C. Ist die Beleuchtungsstärke am Auge die richtige Größe für biologische Lichtwirkungen? // In Proc. of DIN-Expertenforum «Wirkung des Lichts auf den Menschen», 2010. – P. 7–17.

14. Van Derlofske, J., Bierman, A., Rea, M.S., Maliyagoda, N. Design and optimization of a retinal exposure detector // In Proc. of Int. Society for Optics and Photonics – Int. Symp. on Optical Science and Technology, 2000. – P. 60–70.

15. Van Derlofske, J., Bierman, A., Rea, M.S., Ramanath, J., Bullough, J.D. Design and optimization of a retinal flux density meter // Measurement Science and Technology.– 2002. – Vol. 13, No. 6. – P. 821.

16. FGL (Fördergemeinschaft Gutes Licht) (2014), «licht.wissen 19 Impact of Light on Human Beings,» [Online]. Available: [http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1409\\_LW19\\_E\\_Impact-of-Light-on-Human-Beings\\_web.pdf](http://en.licht.de/fileadmin/shop-downloads/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf)

17. Rüger, M., Gordijn, M.C.M., Beersma, D.G.M., de Vries, B., Daan, S. Weak relationships between suppression of melatonin and suppression of sleepiness/fatigue in response to light exposure // Journal of Sleep Research.– 2005. – Vol. 14. – P. 221–227.

18. Lucas, R.J., Peirson, S.N., Berson, D.M., Brown, T.M., Cooper, H.M., Czeisler C.A., et al. Measuring and using light in the melanopsin age // Trends in neurosciences.– 2014. – Vol. 37. – P. 1–9.

19. Liedtke, C., Völker, S., Knoop, M. The Light Direction and Directional Light – Towards a new Quantification of an Essential Lighting Quality Criterion // In Proc. CIE Centenary Conf., 2013. – P. 542–551.

20. Knoop, M., Diakite, A., Liedtke, C., Broszio, K., Niedling, M. Characterisation of daylight's spatial and spectral distribution to assess its impact on human beings // Unpublished, presented at CIE Midterm Meeting, Jeju Island, Republic of Korea, 2017.



**Кай Брозио (Kai Broszio).** Аспирант (Ph.D.) и ассистент кафедры светотехники Берлинского технического университета. Внештатный член экспертной группы по внутреннему освещению Германского светотехнического общества.

Область научных интересов: влияние направленности света на не связанное с формированием изображения воздействие света



**Мартина Кнооп (Martine Knoop).**

Преподаватель кафедры светотехники Берлинского технического университета. Область научных интересов: характерные особенности естественного освещения,

разработка новых установок адаптивного искусственного освещения, улучшение самочувствия и работоспособности находящихся в зданиях людей



**Стефан Вёлкер (Stephan Voelker),** Dr.-Ing., профессор. Окончил Технический университет Ильменау. Заведующий кафедрой светотехники Берлинского технического университета. Председатель ТК 4–33

МКО и член ТК 4–54 МКО, член президиума Германского светотехнического общества, член экспертного совета по разработке стандартов в области светотехники (FNL & DIN). Область научных интересов: адаптивное дорожное освещение на основе видимости, адаптивной внутреннее освещение, оценка блёскости светильников с СД и естественное освещение



**Матиас Нидлинг (Mathias Niedling).**

Окончил Технический университет Ильменау. Аспирант (Ph.D.) кафедры светотехники Берлинского технического университета. Член Немецкого института стандар-

тизации (DIN) и член экспертной группы по наружному освещению Германского светотехнического общества. Область научных интересов: не связанное с формированием изображения воздействие света, блёскость, наружное освещение, влияние спектра излучения источников блёскости на дискомфортную и спящую блёскость

# Использование рецептивного поля и реакции зрачка на свет для оценки зрительного дискомфорта<sup>1</sup>

Г.Х. ШЕЙР\*, П. ХАНСЕЛАЕР, В.Р.А. РИКАРТ

Лёвенский католический университет, Гент, Бельгия

\*E-mail: gertjan.scheir@kuleuven.be

## Аннотация

Согласно определению МКО, дискомфортная блёскость – это блёскость, вызывающая неприятные ощущения (дискомфорт), но не обязательно ухудшающая при этом видимость<sup>2</sup>. Традиционные методы определения блёскости не работают в случае светильников с неравномерным распределением яркости. В качестве альтернативы, в данной работе зрительный дискомфорт определяется на основе физиологической модели, в которой учитываются центрально-периферическое рецептивное поле (*centre-surround receptive field*) и реакция зрачка на свет. Площадь зрачка, которая определяется реакцией зрачка на свет, регулирует освещённость сетчатки, тогда как центрально-периферическое рецептивное поле, описываемое разностью гауссианов, формирует визуальный сигнал. Центр этого поля создаёт сигнал, тогда как его периферия управляет подавлением этого сигнала. Эксперимент, проводившийся методом парного сравнения с принудительным выбором, включал в себя 7 проецированных сзади (рипроецированных) стимулов с различной пространственной частотой распределения яркости. Благодаря равному 0,90 многообещающему значению коэффициента детерминации, представленная модель может считаться кандидатом на замену используемых в настоящее время показателей блёскости, таких как *UGR* или *VCP*, особенно при оценке светильников с неравномерным распределением яркости.

**Ключевые слова:** дискомфортная блёскость, карта яркости, рецептивные поля.

## 1. Введение

Согласно определению, приведённому в Международном светотехническом словаре МКО, дискомфортная блёскость – это блёскость, вызывающая неприятные ощущения (дискомфорт), но не обязательно ухудшающая при этом видимость [1]<sup>2</sup>. С самого начала прошлого века исследователи пытались дать количественную оценку зрительного дискомфорта [2]. Были разработаны многочисленные показатели дискомфорта. Для оценки дискомфортной блёскости в условиях внутреннего освещения МКО предложено использовать объединённый показатель дискомфорта (*UGR*), который входит в европейский стандарт на освещение рабочих мест внутри зданий *EN12464-1* [3, 4]. Североамериканское светотехническое общество предложило оценивать дискомфортную блёскость при помощи показателя комфортности зрительного восприятия (*VCP*) [5].

Традиционные способы оценки блёскости часто включают в себя среднюю яркость, рассчитанную исходя из измеренного в дальнем поле распределения силы света [3, 5]. Любые неравномерности распределения яркости при этом игнорируются. Так как светильники с неравномерным распределением яркости создают блёскость, большую чем создаваемая имеющими ту же среднюю яркость светильниками с равномерным распределением яркости, то применимость тради-

ционных способов оценки блёскости к источникам света с неравномерным распределением яркости подвергается сомнению [6–12]. Неравномерность распределения яркости хорошо описывается картами яркости [13]. С увеличением доли рынка, приходящейся на светильники с СД для внутреннего и наружного освещения, имеющие чрезвычайно неравномерное распределение яркости, становится важным проведение адекватных оценок зрительного дискомфорта на основе карт яркости.

Хотя некоторые механизмы, участвующие в восприятии яркости, известны, иногда, уже десятки лет, традиционные формулы для расчёта блёскости остаются чисто эмпирическими и не имеют никакого физиологического или психологического обоснования. В представленной в данной статье модели для оценки зрительного дискомфорта используется рецептивное поле, дополненное реакцией зрачка на свет.

Реакция зрачка на свет, которая является частью процесса адаптации, управляет освещённостью сетчатки. Были предложены разные формулы для расчёта размера зрачка [14]. В ранних формулах учитывались только яркости стимулов [15–18]. Помимо яркости в качестве существенного фактора рассматривался и размер стимула [19, 20].

Нейронные проводящие пути рецептивного поля изучались, начиная с 1930-х годов [21, 22]. Реакцию нейронов непосредственно регистрировали при физическом воздействии на сетчатку глаз млекопитающих и других животных [23, 24]. Возбуждение нейронов осуществлялось при разной пространственной частоте изменения яркости [25, 26]. Численная обработка результатов возбуждения нейронов обеспечила физиологическую базу для оценки зрительного дискомфорта, которая в настоящее время используется при проектировании осветительных установок [27].

В данной работе зрительный дискомфорт оценивается исходя из распределения яркости при помощи модели, включающей в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка на свет. Для анализа этой модели используется парное сравнение с принудительным выбором, включающее в себя 7 имеющих неравномерную яркость проецированных сзади стимулов

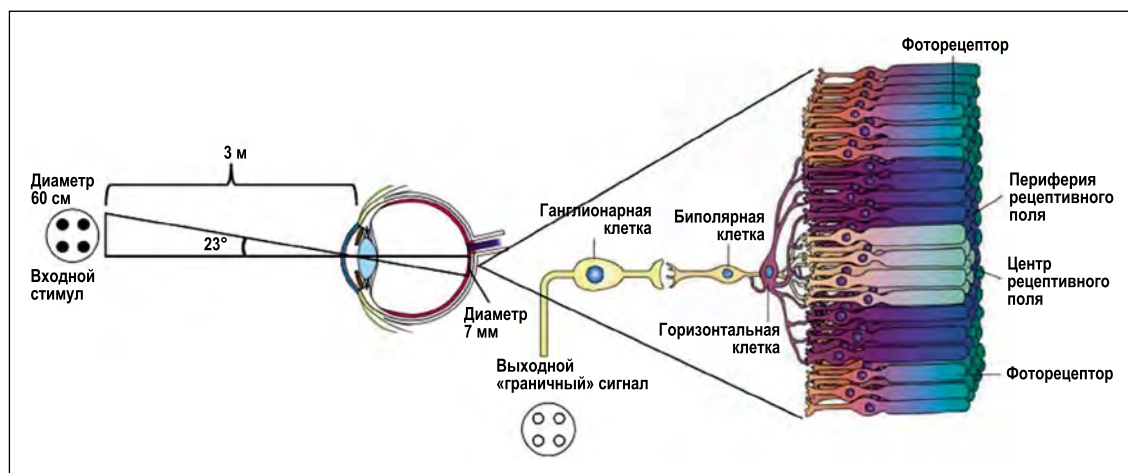
<sup>1</sup> По материалам доклада на конгрессе *Lux Europa-2017*.

Перевод с англ. Е.И. Розовского.

<sup>2</sup> В свою очередь, блёскость – это условие видения, при котором появляется дискомфорт или уменьшение способности видеть детали или объекты вследствие неблагоприятного распределения или диапазона яркости или экстремальных контрастов [1]. – Прим. пер.



Рис. 1. Зрительной системе человека присущи реакция зрачка на свет и наличие рецептивного поля



с различной пространственной частотой распределения яркости.

## 2. Метод

### 2.1. Зрительная система человека

Зрительная система человека включает в себя несколько механизмов (рис. 1). Глаз формирует изображение плоскости объекта, характеризующееся распределением яркости на сетчатке. Освещённость сетчатки пропорциональна площади зрачка, регулируемой реакцией зрачка на свет, и яркости объекта. В освещённом пространстве стягивание радужной оболочки глаза приводит к уменьшению размера зрачка и ограничивает попадание света. При слабом освещении расширение радужной оболочки приводит к увеличению размера зрачка, увеличивая освещённость сетчатки. Размер зрачка изменяется в пределах от примерно 2-х до примерно 8-ми мм. В данной работе диаметр зрачка рассчитывается, исходя из средней яркости стимула и из размера охватываемого стимулом поля зрения [19]:

$$D = 5 - 3 \operatorname{th} \left( 0.4 \log \frac{L_s a}{40^2} \right), \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр зрачка, мм;  $L_s$  – средняя яркость стимула, кд/м<sup>2</sup>;  $a$  – размер стимула, град.<sup>2</sup>.

Площадь зрачка определяет собой освещённость сетчатки  $E_{ret}$ , масштабируя распределение яркости  $L$ . При непосредственном наблюдении освещённость сетчатки может быть аппроксимирована выражением:

$$E_{ret} \sim L \cdot \left( \frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi. \quad (2)$$

Если идти от внутренней части глаза к наружной, то можно выделить следующие слои сетчатки: фоторецепторы, слой с биполярными и горизонтальными клетками и слой с ганглионарными клетками. В условиях дневного зрения (*Hunt, 1998*<sup>3</sup>) фоторецепторы-колбочки преобразуют падающий свет в электрический сигнал. Так как фоторецепторы расположены в самом глубоком слое сетчатки, то нервные клетки, расположенные в других слоях, должны быть прозрачными. Центральные фоторецепторы непосредственно связаны с биполярными клетками. Параллельные сетчатке горизонтальные клетки соединяют по несколько периферических фоторецепторов и также передают сигналы на биполярные клетки по непрямоу пути. В свою очередь, биполярная клетка передаёт сигналы фоторецепторов, полученные непосредственно и по непрямоу пути, на ганглионарные клетки, которые посылают импульсные сигналы в мозг.

Сочетание сигналов, полученных непосредственно и по непрямоу пути, приводит к формированию центрально-периферических рецептивных полей. В рецептивном поле типа «ON-центр и OFF-периферия» сигнал ганглионарной клетки формируется центром и подавляется периферией, тогда как в случае рецептивного поля типа «OFF-центр и ON-периферия» всё происходит с точностью до наоборот. Фоторецепторы могут

быть частью многочисленных центральных и/или периферических полей [22]. Рецептивное поле моделируют при помощи разности 2-мерных нормальных распределений (гауссианов). Вычитание периферического гауссиана из центрального приводит к получению распределения разности гауссианов для рецептивного поля. При равномерном освещении отдельного рецептивного поля результирующий сигнал будет минимальным. При резкой границе между светлым и тёмным участками, когда периферия освещена не полностью, подавление центра будет не максимальным. Так что рецептивное поле выступает в роли щелевого фильтра (рис. 2).

Светильник можно отобразить при помощи карты яркости. Каждому из пикселей имеющей высокое разрешение карты яркости можно приписать значение яркости и пространственные координаты соответствующей точки светильника. Центрально-периферическое рецептивное поле моделируется при помощи имеющей форму дискретизированной мексиканской шляпы разности гауссианов (рис. 3). Разность между максимальным центральным сигналом и максимальным периферическим сигналом учитывается при помощи весового коэффициента. Разность гауссианов масштабируется и дискретизируется, с тем, чтобы обеспечить соответствие разрешающей способности карты освещённости сетчатки. Сигнал, генерируемый рецептивным полем одной ганглионарной клетки, рассчитывают посредством наложения разности гауссианов на конкретный участок карты яркости, поточечного умножения перекрывающихся матриц и суммирования всех полученных произведений. Сигналы

<sup>3</sup> В списке литературы отсутствует. – Прим. пер.

всех ганглионарных рецептивных полей глаза моделируются посредством свёртки карты яркости с использованием разности гауссианов. Для каждого из пикселей, свёртка карты яркости отражает величину сигнала, передаваемого в мозг. Для подсчёта вклада рецептивных полей типа «ON-центр» и «OFF-центр», рассматриваются абсолютные значения сигналов свёрнутой карты яркости. Сумма сигналов, соответствующих всем пикселям, является мерой полного зрительного сигнала, обусловленного наличием светильника. Общее количество пикселей зависит от поля зрения фотоаппарата и разрешающей способности карты яркости. Для учёта различий в количестве пикселей в случаях имеющих разную разрешающую способность карт яркости, соответствующие разным пикселям сигналы взвешивают при помощи соответствующих этим пикселям телесных углов зрения. Как следует из формул, описывающих многокомпонентное восприятие [3, 5], механизм сжатия может быть описан при помощи натурального логарифма. Ширина центрального и периферического полей была определена ранее [11]. Натуральный логарифм был выбран нами произвольным образом. Порядок расчётов, использовавшийся в данной статье, приведён ниже:

$$\begin{aligned} & \text{Модель зрительного} \\ & \text{дискомфорта} = \\ & = \ln \sum_{pix} \omega_{pix} \cdot |(C - WF \cdot S) * E_{ret}|, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\omega_{pix}$  – соответствующий пикселу телесный угол,  $C$  – центральный гауссиан,  $S$  – периферический гауссиан,  $WF$  – весовой коэффициент периферии по отношению к центру (*Surround-to-Centre Weighing Factor*),  $E_{ret}$  – карта освещённости сетчатки,  $*$  – оператор свёртки.

## 2.2. Зрительный эксперимент, проводившийся методом парного сравнения

Семь стимулов проецировались сзади на рассеивающий экран, в результате чего свет оказывался распределённым по закону Ламберта (рис. 4). Пятна света, имеющие яркость  $1500 \text{ кд/м}^2$ , формировали матрицу размером  $33,5 \times 34,0$  см, которая наблюдалась с фиксированного расстояния, равного 3 м. Увеличение количества квадратов со-

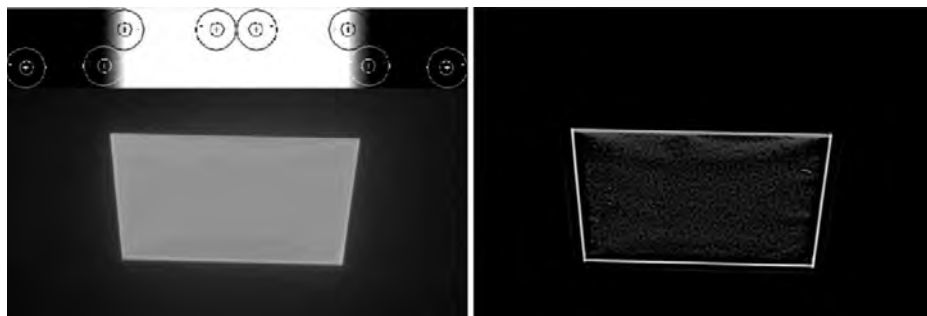


Рис. 2. Слева: в тёмной области нет ни возбуждения сигналов в центральных участках, ни их подавление на периферии. В пределах равномерно освещённой области возбуждение в центре подавляется периферией. В обоих случаях (тёмная область и равномерно освещённая область) генерируемый рецептивным полем сигнал будет незначительным. На резкой границе между тёмным и освещённым участками центр (или периферия) освещён полностью, что приводит к наличию результирующего сигнала рецептивного поля. Справа: Рецептивное поле, а, следовательно, и зрение человека, действует как целевой фильтр

провождалось уменьшением приходившейся на один квадрат площади светящейся поверхности и зазора между квадратами, что обеспечивало поддержание равного  $350 \text{ кд/м}^2$  значения средней яркости и равного  $0,0042 \text{ м}^2$  значения общей площади светящейся поверхности. Матрицы состояли из  $2 \times 2$ ,  $6 \times 6$ ,  $26 \times 26$ ,  $60 \times 60$ ,  $179 \times 179$  и  $360 \times 360$  пятен света, дополненных равномерным стимулом.

Управляемые при помощи цифрового адресного интерфейса освещения (*DALI*) бра, заливающие стены светом, обеспечивали равномерную яркость фона, равную от 40 до  $50 \text{ кд/м}^2$  со средним уровнем яркости  $45 \text{ кд/м}^2$ . В проводившемся методом парного сравнения эксперименте с принудительным выбором всем 20-ти наблюдателям демонстрировали 42 пары, и для каждой из пар наблюдатели должны были указать стимулы, вызывающие больший дискомфорт. Возраст наблюдателей лежал в пределах от 20 до 38 лет, средний возраст был равен 26 годам. Эксперимент занимал примерно полчаса, причём наблюдатели по желанию могли попросить сделать перерыв в любое время.

Обобщённая линейная модель позволила получить для каждого стимула соответствующие интервальной шкале значения показателя  $Z$  для зрительного дискомфорта и среднеквадратические погрешности (рис. 4) [28, 29]. Карты яркости формировались при помощи фотоаппарата *LMK Labsoft* с заявленной суммарной погрешностью 2,8 %.

## 3. Результаты и обсуждение

Связь между субъективными оценками, приведёнными с указанием погрешности, и результатами моделирования показана на рис. 5. Цифры на рис. 5 соответствуют номерам стимулов на рис. 4. Коэффициент детерминации оказался равным 0,90. В [25, 27] было проведено исследование влияния пространственной частоты распределения яркости на дискомфортную блёскость, и полученные результаты, подвергнутые преобразованию Фурье, недавно нашли применение при проектировании освещения. В данной работе упомянутая зависимость объясняется на основе модели, включающей в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка

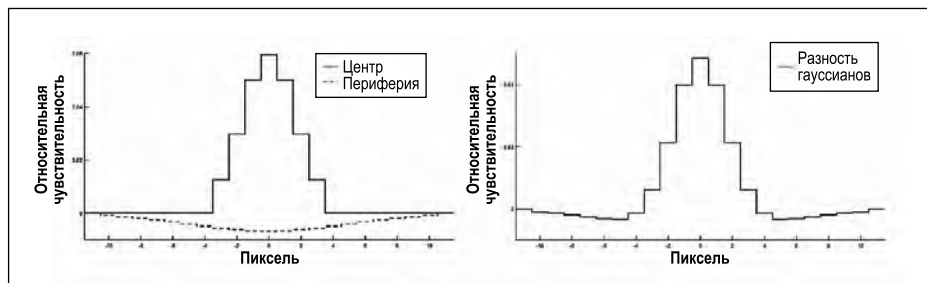


Рис. 3. Слева: поперечное сечение дискретизированных центрального и периферического ядер. Справа: дискретизированная разность гауссианов (центр минус периферия), соответствующее рецептивному полю с весовым коэффициентом 1



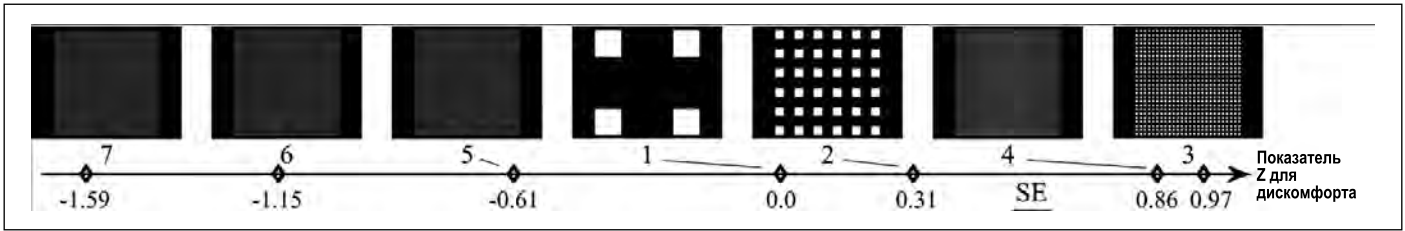


Рис. 4. Семь проецировавшихся сзади стимулов и полученные методом парного сравнения результаты со среднеквадратическими погрешностями

Рис. 5. Парное сравнение субъективных оценок и полученных при помощи модели значений



на свет. Зрительный дискомфорт первоначально возрастает при увеличении пространственной частоты (стимулы 1–3). Увеличение количества пятен света приводит к увеличению количества границ при уменьшении пространства разделения. В соответствии с результатами субъективных оценок, увеличение количества границ сначала приводит к увеличению полученного при помощи модели результата, так как модель выступает в роли щелевого фильтра. Когда пространственное расстояние между пятнами света достигает значения пространственной разрешающей способности глаза, границы между светлыми и тёмными участками становятся менее чёткими. При определённой частоте глаз человека уже не способен чётко видеть границы, и зрительный дискомфорт достигает своего максимального насыщенного значения. В представленной модели пространственное разделение стимулов достигает размера разности гауссианов центрально-периферического рецептивного поля. Возбуждение, обусловленное пятном света, попадающим в центр рецептивного поля, подавляется другим пятном света, попадающим на периферию рецептивного поля. При дальнейшем уменьшении пространственного разделения пятен света (что приводит к увеличению количества пятен), границы будут становиться

всё менее чёткими, и стимулы будут выглядеть всё более равномерными. Наблюдаемый зрительный дискомфорт начинает уменьшаться (стимулы 4–7). Стимул 3, которому соответствует частота 4,0 циклов на градус, вызывает наибольший зрительный дискомфорт. По самым скромным оценкам, любой стимул в диапазоне от 1,0 до 9,3 циклов на градус будет вызывать максимальный дискомфорт. Квадратичная аппроксимация позволяет утверждать, что максимальный дискомфорт имеет место в диапазоне от 4,0 до 9,3 циклов на градус. Согласно функции контрастной чувствительности [29], в случае прямого визирования максимальная чувствительность имеет место в диапазоне от 6 до 11 циклов на градус. Так что в диапазоне от 6,0 до 9,3 циклов на градус наблюдается удовлетворительное совпадение результатов.

В формулу (1), описывающую реакцию зрачка на свет, уровень освещённости и размер стимула входят только в виде произведения. При расчёте диаметра зрачка можно учесть ещё и возраст, но это очень кропотливое занятие [31]. В данном исследовании влияние возраста не учитывалось. Обусловленное возрастными различиями максимальное отклонение диаметра зрачка от значения, соответствующего среднему наблюдателю, составляет 7 %.

На границах некоторых проецировавшихся пикселей яркость была на 50 % меньше яркости в центре пикселя. Ни один из наблюдателей не отметил спад яркости на границах, даже если это специально упоминалось. Для проведения анализа использовались измеренные карты яркости. Для того чтобы учесть все соответствующие границам пиксели, излучающая свет поверхность определялась, как все пиксели с яркостями, превышающими 50 % от максимального значения яркости. Уровни яркости всех излучающих свет пикселей фиксировались на уровне средней яркости излучающей свет поверхности. При сравнении значений, рассчитанных на основе реальных измеренных карт яркости, со значениями, полученными применительно к теоретическим картам, оказалось, что различия составляют всего 4 %. Как и в случае зрительного восприятия, модель оказалась устойчивой к постепенному изменению уровня яркости.

В [32] аналогичная модель на основе рецептивного поля с учётом реакции зрачка на свет была разработана для оценки дискомфортной яркости, создаваемой как офисными светильниками, так и светильниками для освещения дорог. А так как при освещении дорог яркостный контраст и диапазон его изменения больше, чем в случае внутреннего освещения, то в эту модель был включён дополнительный механизм нормировки в условиях тёмной окружающей среды. В данной работе этот механизм нормировки не использовался.

#### 4. Заключение

Для оценки зрительного дискомфорта была разработана модель, включающая в себя действие рецептивного поля и реакцию зрачка на свет. Реакция зрачка на свет регулирует освещённость сетчатки, тогда как центрально-периферическое рецептивное

поле служит для описания зрительного сигнала. Для проверки модели был использован проводившийся методом парного сравнения эксперимент, который включал в себя 7 проецированных сзади стимулов с различной пространственной частотой распределения яркости. Максимальный зрительный дискомфорт имеет место при пространственной частоте, лежащей в интервале от 4,0 до 9,3 циклов на градус. Благодаря равному 0,90 многообещающему значению коэффициента детерминации, представленная модель может считаться кандидатом на замену используемых в настоящее время показателей блёскости, таких как UGR или VCP, особенно при оценке светильников с неравномерным распределением яркости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE S017/E:2011 ILV: International lighting Vocabulary. Vienna: CIE, 2011.
2. Luckiesh, M., Holladay, L.L. Glare and Visibility // Transactions of the Illuminating Engineering Society. – 1925. – Vol. 20. – P. 221–252.
3. CIE117:1995. Discomfort Glare in Interior Lighting // CIE: Vienna, 1995.
4. CEN2011. Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places // Belgium, 2011.
5. The IESNA Lighting Handbook. 9<sup>th</sup> Ed. IESNA, USA, 2000.
6. Hara, N., Hasegawa, S. Study on Discomfort Glare Rating of the Luminaire with LED Array // Journal of the illuminating engineering institute of Japan. – 2012. – Vol. 96, No. 2. – P. 81–88.
7. Cai, H., Chung, T. Evaluating discomfort glare from non-uniform electric light sources // Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 45, No. 3. – P. 267–294.
8. Geerdinck, L., Van Gheluwe, J.R., Vissenberg, M.C.J.M. Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting // Journal of Environmental Psychology. – Vol. 39, No. 0. – P. 5–13.
9. Tashiro, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa T., Ayama, M. Discomfort glare for white LED light sources with different spatial arrangements // Lighting Research and Technology. – 2015. – Vol. 47, No. 3. – P. 316–337.
10. Scheir, G.H., Hanselaer, P., Bracke, P., Deconinck, G., Ryckaert, W.R. Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources // Building and Environment. – 2015. – Vol. 84. – P. 60–67.
11. Scheir, G.H., Donners, M., Geerdinck, L.M., Vissenberg, M.C.J.M., Hanselaer, P., Ryckaert, W.R. A psychophysical model for visual discomfort based on receptive fields // Lighting Research and Technology. – 2016.
12. Scheir, G.H., Hanselaer, P., Ryckaert, W.R. Defining the Actual Luminous Surface in

the Unified Glare Rating // LEUKOS. – 2017. – P. 1–10.

13. CIE205:2013. Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems // CIE: Vienna, 2013.

14. Watson, A.B., Yellott, J.I. A unified formula for light-adapted pupil size // Journal of Vision. – Vol. 12, No. 10. – P. 12–12.

15. Holladay, L.L. The Fundamentals of Glare and Visibility // Journal of the Optical Society of America. – 1926. – Vol. 12, No. 4. – P. 271–319.

16. Crawford, B.H. The Dependence of Pupil Size upon External Light Stimulus under Static and Variable Conditions // Proc. of the Royal Society of London. Series B – Biological Sciences. – 1936. – Vol. 121, No. 823. – P. 376–395.

17. Moon, P., Spencer, D.E. On the Stiles-Crawford Effect // Journal of the Optical Society of America. – 1944. – Vol. 34, No. 6. – P. 319–329.

18. de Groot, S.G., Gebhard, J.W. Pupil Size as Determined by Adapting Luminance\* // Journal of the Optical Society of America. – 1952. – Vol. 42, No. 7. – P. 492–495.

19. Barten, P.G.J. Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality // SPIE press book. – 1999. – Vol. PM72. – P. 232.

20. Stanley, P.A., Davies, A.K. The effect of field of view size on steady-state pupil diameter // Ophthalmic and Physiological Optics. – 1995. – Vol. 15, No. 6. – P. 601–603.

21. Hartline, H.K. The response of single optic nerve fibers of the vertebrate eye to illumination of the retina // American Journal of Physiology. Legacy Content. – 1938. – Vol. 121, No. 2. – P. 400–415.

22. Hubel, D.H. Eye, Brain, and Vision. Vol. 22. // New York: W.H. Freeman & Co., 1988. – 240 pp.

23. Sceniak, M.P., Ringach, D.L., Hawken, M.J., Shapley, R. Contrast's effect on spatial summation by macaque V1 neurons // Nat Neurosci. – 1999. – Vol. 2, No. 8. – P. 733–739.

24. Cavanaugh, J.R., Bair, W., Movshon, J.A. Nature and Interaction of Signals From the Receptive Field Center and Surround in Macaque V1 Neurons // Journal of Neurophysiology. – 2002. – Vol. 88, No. 5. – P. 2530–2546.

25. Wilkins, W., Nimmo-Smith, I., Tait, A. A neurological basis for visual discomfort // Brain. – 1984. – Vol. 107. – P. 989–1017.

26. O'Hare, L., Hibbard, P.B. Spatial frequency and visual discomfort // Vision Research. – 2011. – Vol. 51, No. 15. – P. 1767–1777.

27. Wilkins, A. A physiological basis for visual discomfort: Application in lighting design // Lighting Research and Technology. – 2016. – Vol. 48, No. 1. – P. 44–54.

28. Scheffé, H. An Analysis of Variance for Paired Comparisons // Journal of the American Statistical Association. – 1952. – Vol. 47, No. 259. – P. 381–400.

29. Rajae-Joordens, R., Engel, J. Paired comparisons in visual perception studies using small sample sizes // Displays. – 2005. – Vol. 26, No. 1. – P. 1–7.

30. Hilt, R., Cavonius, C.R. Functional organization of the peripheral retina: Sensitivity to periodic stimuli // Vision Research. – 1974. – Vol. 14, No. 12. – P. 1333–1337.

31. Winn, B., Whitaker, D., Elliott, D.B., Phillips, N.J. Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 1994. – Vol. 35, No. 3. – P. 1132–1137.

32. Donners, M.A.H., Vissenberg, M.C.J.M., Geerdinck, L.M., Van Den Broek-Cools, J.H.F., Buddenmeijer-Lock, A. A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications // In: Proc. of the 28th CIE Session. Manchester, UK, 2015.



**Гертман Х. Шейр (Gertjan H. Scheir)**, Ph.D. Научный сотрудник светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета. Член объединённого ТК 7

«Дискомфорт, вызванный блёскостью светильников с неравномерной яркостью источников света». Область научных интересов: восприятие источников света и материалов



**Петер Ханселаер (Peter Hanselaer)**, профессор. Читает лекции по светотехнике в Лёвенском католическом университете. Руководитель светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета. Редактор отделения 1 МК «Зрение и цвет».

Область научных интересов: зрительное восприятие яркости и цвета, включая хроматическую адаптацию, глянец и блёскость



**Ваутер Р.А. Руккарт (Wouter R.A. Ryckaert)**, Ph.D. (2006 г.), профессор. Читает лекции в Лёвенском католическом университете. Руководитель направления «Внутреннее

освещение и энергоэффективность» в светотехнической лаборатории Лёвенского католического университета. Член совета светотехнического кластера «Зелёный свет во Фландрии», состоящего из более чем 75 членов и объединяющего в себе наиболее значимых местных участников рынка





Международная  
светотехническая  
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

# ТЕПЛИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

**Готовые комплексные решения:**

- индивидуальный подход
- инновационные разработки
- идеальный световой баланс
- независимые испытания приборов
- простота и надежность в эксплуатации



**Урожай в новом свете**





Мы осветили **около 300**  
промышленных и фермерских  
теплиц в России и за рубежом

**Готовые комплексные решения**

[www.galad.ru](http://www.galad.ru)  
[www.bl-g.ru](http://www.bl-g.ru)



# TM-30-15 и общий индекс цветопередачи МКО $R_a$ : исследование цветопередачи белых СД с люминофором<sup>1</sup>

К. БИСКЕ<sup>1,3</sup>, У. ХАРТВИГ<sup>1</sup>, К. ШИРЦ<sup>1</sup>, А. ВИЛЬМ<sup>2</sup>, К. ХОРСТ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Технический университет Ильменау, Ильменау, Германия

<sup>2</sup> Компания OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Регенсбург, Германия

<sup>3</sup> E-mail: Karin.Bieske@TU-Ilmenau.de

## Аннотация

Проведено исследование цветопередачи (индекса точности воспроизведения цвета (*Fidelity Index*)  $R_f$  и индекса цветовой гаммы (*Gamut Index*)  $R_g$  из TM-30-15) при использовании двадцати одного СД источника света с люминофорами (ЛСД), имеющими различные значения  $R_f$  и  $R_g$ . 34 объекта освещали при помощи ЛСД, люминесцентных ламп (ЛЛ) и галогенных ламп накаливания (ГЛН). Цветные объекты располагались одинаковым образом в двух соседних камерах, и участники сравнивали представленные им варианты освещения с освещением лампой сравнения (ГЛН). При оценке качества цвета мнения наблюдателей зависели от обоих показателей. Наблюдалась сильная корреляция между индексом точности воспроизведения и воспринимаемыми цветовым различием и сдвигом цвета и между индексом цветовой гаммы и насыщенностью цвета. По мнению наблюдателей, люминесцентной лампе ( $R_f = 80$ ,  $R_g = 100$ ) лучше всего соответствовали ЛСД с  $R_f = 75$ ,  $R_g = 105$  и с  $R_f = 80$ ,  $R_g = 105$ .

**Ключевые слова:** цветопередача, СД с люминофором, TM-30-15.

## 1. Введение

В настоящее время во внутреннем освещении всё чаще используются светодиоды (СД). Вначале белый свет формировался совокупностью разных цветных СД (RGB-СД). Сейчас используются СД с люминофорами (ЛСД). В них излучение синего СД преобразуется люминофором в более длинноволновое излучение. Обычно это преобразование осуществляется смесью люминофоров разного типа, позволяющей получить определённый

спектр излучения СД, который влияет на цветопередачу источника света. Стандартным современным способом оценки цветопередачи является использование индекса цветопередачи МКО  $R_a$ , который был предложен МКО в 1995 г. [1]. Однако исследования продемонстрировали несовпадение между оценками, проведёнными по этой методике, с оценками наблюдателей, особенно в случае СД освещения [2], так что эта методика расчётов была усовершенствована с учётом новых достижений в области колориметрии. Кроме того, были оптимизированы спектральные распределения энергии излучения (СРЭИ) новых источников света, например, за счёт использования разных люминофоров, которые в значительной степени влияют на качество цвета. Во всём мире считают, что для описания качества цвета, имеющего множество граней, одного критерия недостаточно, и в 2015 г. Североамериканское светотехническое общество опубликовало технический меморандум TM-30-15, содержащий новый способ оценки цветопередачи белых источников света [3]. TM-30-15 учитывает как точность воспроизведения цвета (*colour fidelity*), оцениваемую при помощи индекса точности воспроизведения цвета (*Fidelity Index*)  $R_f$ , так и цветовую гамму, оцениваемую при помощи индекса цветовой гаммы (*Gamut Index*)  $R_g$ , что позволяет охватить координаты цветности, соответствующие 16-ти бинам цветового тона (*hue bins*). В [4] было показано, что чем шире цветовая гамма, тем лучше цветоразличение, так как при этом координаты цветности разнесены в цветовом пространстве на большее расстояние. Были также высказаны предположения, что в случае источника света с большей цветовой гаммой цвета воспринимаются как бо-

лее насыщенные, более яркие и более естественные [5], и что размер охватываемой области пропорционален максимально возможному количеству цветов, которые могут быть представлены [6]. RGB-СД являются примерами СД с узкими СРЭИ. Они могут иметь большие значения индекса цветовой гаммы, но при этом воспроизведение определённых цветов может быть неточным. Поэтому имеет смысл использовать оба показателя.

В [7] описаны результаты предварительных исследований СД освещения, проведённых в лабораторных условиях с использованием цветных объектов. Освещение обеспечивалось белым светом с разными значениями  $R_f$  и  $R_g$ , создаваемым семью типами регулируемых цветных СД. В результате был сделан вывод, что наблюдатели предпочитают СД источники света с  $R_f > 75$  и  $R_g \geq 100$ . В данной работе этот результат проверяется применительно к ЛСД.

## 2. Тема исследования и гипотезы

Считается, что белые ЛСД удовлетворяют требованиям, сформулированным в [7], и что существует высокая степень корреляции между значениями  $R_f$  и  $R_g$ , введёнными в TM-30-15, и субъективными оценками наблюдателями разных аспектов цветопередачи. В данной работе рассматривается возможность улучшения оценки цветопередачи ЛСД с одинаковыми значениями индекса цветопередачи МКО  $R_a$ , для чего используются субъективные оценки, проведённые применительно к ЛЛ.

## 3. Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Использовались две примыкающие друг к другу камеры с двумя отделениями каждая, в одном из которых располагался осветительный блок с рассеивателем, а в другом – исследуемые объекты (рис. 1а). В одной камере в качестве источников света использовались ГЛН *SoLux* и ЛЛ *OSRAM Sylvania* с  $R_a = R_f = 80$  и  $R_g = 100$ , а также три типа синих СД и семь ЛСД с разными синими и красными люминофорами. Сочетая различные СД, можно было формировать разные СРЭИ, такие же, как и у белых ЛСД. Были проведены сравнительные исследования

<sup>1</sup> По материалам доклада на конгрессе *Lux Europa-2017*.

Перевод с англ. Е.И. Розовского.



Рис. 1. а) Экспериментальная установка с двумя камерами (ширина 46 см, глубина 48 см, высота 96 см). Вверху расположен осветительный блок, закрытый занавеской или открытый, а внизу – исследуемые объекты. б) Относительные спектральные распределения энергии излучения источников света (*B* – синий СД, *P* – СД с люминофорами и полным преобразованием излучения, *ref* – лампа сравнения (галогенная лампа накаливания *SoLux THL*), *THL* – галогенная лампа накаливания *SoLux*, *FL* – люминесцентная лампа *OSRAM Sylvania*)

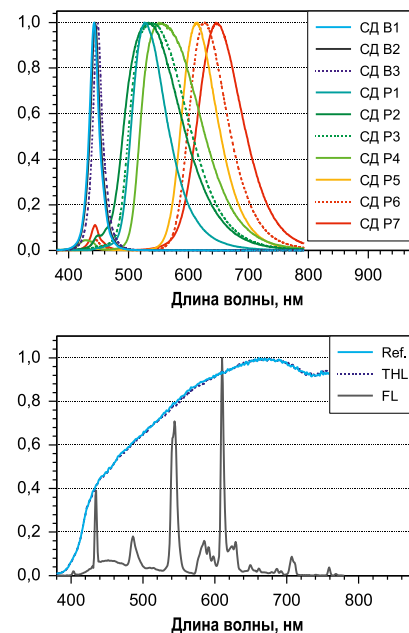
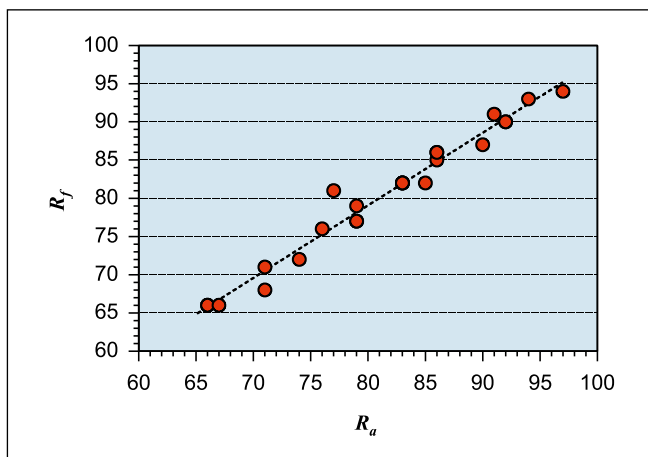


Рис. 2. Корреляция между значениями  $R_a$  и  $R_f$ , коэффициент детерминации  $R^2 = 0,98$



как 21-ой комбинации СД с  $R_f$  в интервале от 66 до 94 и  $R_g$  в интервале от 92 до 114, так ЛЛ и ГЛН. В качестве лампы сравнения использовалась расположенная во второй камере ГЛН *SoLux* с  $R_f = R_g = 100$ . В камере сравнения обеспечивалось постоянство цвета источника света (коррелированная цветовая температура  $T_u = 3800$  К) и уровня освещённости  $E$  в центре пола камеры ( $E = 400$  лк). При создании этой экспериментальной установки учитывалось по обстоятельству, что и индекс цветопередачи МКО  $R_a$ , и  $TM-30-15$  основаны на сравнительных оценках. Относительные СРЭИ источников света приведены на рис. 1б.

Значения  $R_a$  почти совпадают со значениями  $R_f$ , отличаясь, в среднем, лишь в одном знаке из четырёх максимум. Коэффициент детерминации для использовавшихся условий освещения был равен  $R^2 = 0.98$  (рис. 2).

Совокупности одинаковых цветных объектов были идентичным образом размещены в обеих камерах. Выбор объектов обеспечивал охват широкого диапазона цветового тона, насыщенности и светлоты. Координаты цветности объектов приведены на рис. 3. Это были объекты, встречающиеся в повседневной жизни: растения, пищевые продукты, потребительские товары, канцелярские принадлежности и печатная продукция, а также карта цветов. СРЭИ выбранных комбинаций СД и соответствующие сочетания  $R_f$  и  $R_g$  приведены на рис. 4.

В проведении исследований приняли участие 34 человека в возрасте от 23 до 48 лет, из них 10 женщин. Они заполняли вопросники (рис. 5), вначале давая оценку цветопередачи при одновременном наблюдении обеих камер. При этом они оценивали различия в воспринимаемых цветах

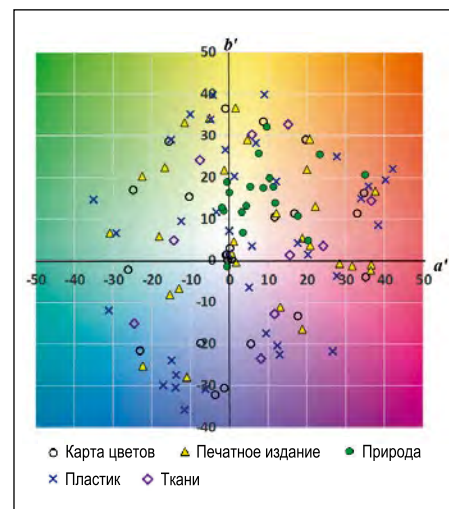


Рис. 3. Координаты цветности исследованных объектов в пространстве CAM02-UCS МКО при освещении их излучателем Планка с  $T_u = 3800$  К

объектов, освещаемых исследуемыми источниками света и лампой сравнения, исходя при этом из цветового различия (*CD*), насыщенности (*S*), воспринимаемой светлоты (*PB*), температуры (*T*), сдвига цвета (*CS*), привлекательности (*LA*) и естественности (*NN*). Кроме того, наблюдателей спрашивали, какие из цветов объектов соответствуют их ожиданиям (*EP*), и как они оценивают качество цвета объектов в целом (*CQ*), безотносительно к цвету объектов сравнения.

Различные варианты освещения реализовывались случайным образом. Для четырёх вариантов исследования проводились повторно. Средние значения и доверительные интерва-

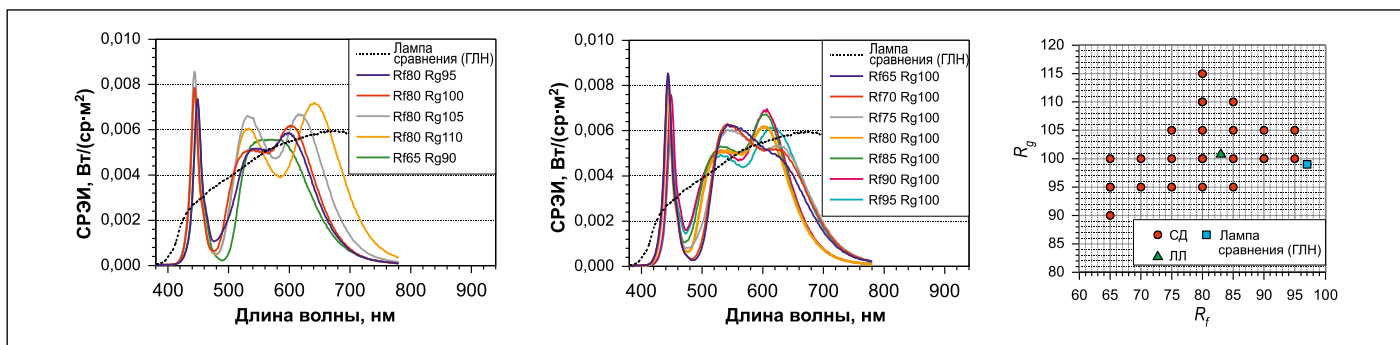


Рис. 4. Слева и в центре: спектры выбранных вариантов освещения. Справа: все использовавшиеся при проведении исследований образцы

<b>Воспринимаете ли Вы цветовое различие между объектами в левой и правой камерах?</b>					
Цветовое различие (CD)	1 = отсутствует	2 = маленькое	3 = среднее	4 = большое	5 = очень большое
<b>Как Вы оцениваете цвета объектов в левой камере по сравнению с цветами объектов в правой камере?</b>					
Насыщенность (S)	1 = очень насыщенный	2 = несколько насыщенный	3 = различий нет	4 = несколько ненасыщенный	5 = очень ненасыщенный
Воспринимаемая светлота (PB)	1 = очень светлый	2 = несколько светлее	3 = различий нет	4 = несколько темнее	5 = очень тёмный
Температура (T)	1 = очень тёплый	2 = несколько теплее	3 = различий нет	4 = несколько холоднее	5 = очень холодный
Сдвиг цвета (CS)	1 = нет	2 = маленький	3 = умеренный	4 = большой	5 = очень большой
Привлекательность (LA)	1 = намного приятнее	2 = несколько приятнее	3 = различий нет	4 = несколько менее приятный	5 = намного менее приятный
Естественность (NL)	1 = очень естественный	2 = несколько естественнее	3 = различий нет	4 = несколько менее естественный	5 = очень неестественный
<b>В какой из камер цвета объектов лучше соответствуют Вашим ожиданиям?</b>					
Ожидания (EP)	1 = в левой	2 = в правой	3 = в обеих	4 = ни в одной	
<b>Если проигнорировать правую камеру, то как Вы оцениваете качество цвета объектов в левой камере?</b>					
Качество цвета (CQ)	1 = очень хорошее	2 = хорошее	3 = среднее	4 = плохое	5 = очень плохое

Рис. 5. Вопросник

Таблица 1

### Коэффициент детерминации $R^2$ линейной регрессии

Величина	$R^2$ для $R_a$	$R^2$ для $R_f$	$R^2$ для $R_g$	$R^2$ для CQ
Качество цвета (CQ)	0,62	0,65	0,73	1,00
Цветовое различие (CD)	0,80	0,79	0,13	0,58
Насыщенность (S)	0,25	0,29	0,95	0,77
Сдвиг цвета (CS)	0,77	0,77	0,33	0,79
Воспринимаемая светлота (PB)	0,01	0,01	0,41	0,17
Температура (T)	0,55	0,63	0,06	0,52
Привлекательность (LA)	0,32	0,36	0,91	0,85
Естественность (NN)	0,61	0,62	0,70	0,92

лы ( $CI_{95\%}$ ) рассчитывали с учётом как ответов участников, так и параметров  $R_a$ ,  $R_f$  и  $R_g$ . Коэффициент детермина-

ции ( $R^2$ ) был получен применительно к аппроксимирующей прямой, проведённой через средние значения оце-

нок. Для сравнения СД источников света и ЛЛ были проведены дисперсионный и ретроспективный анализы.

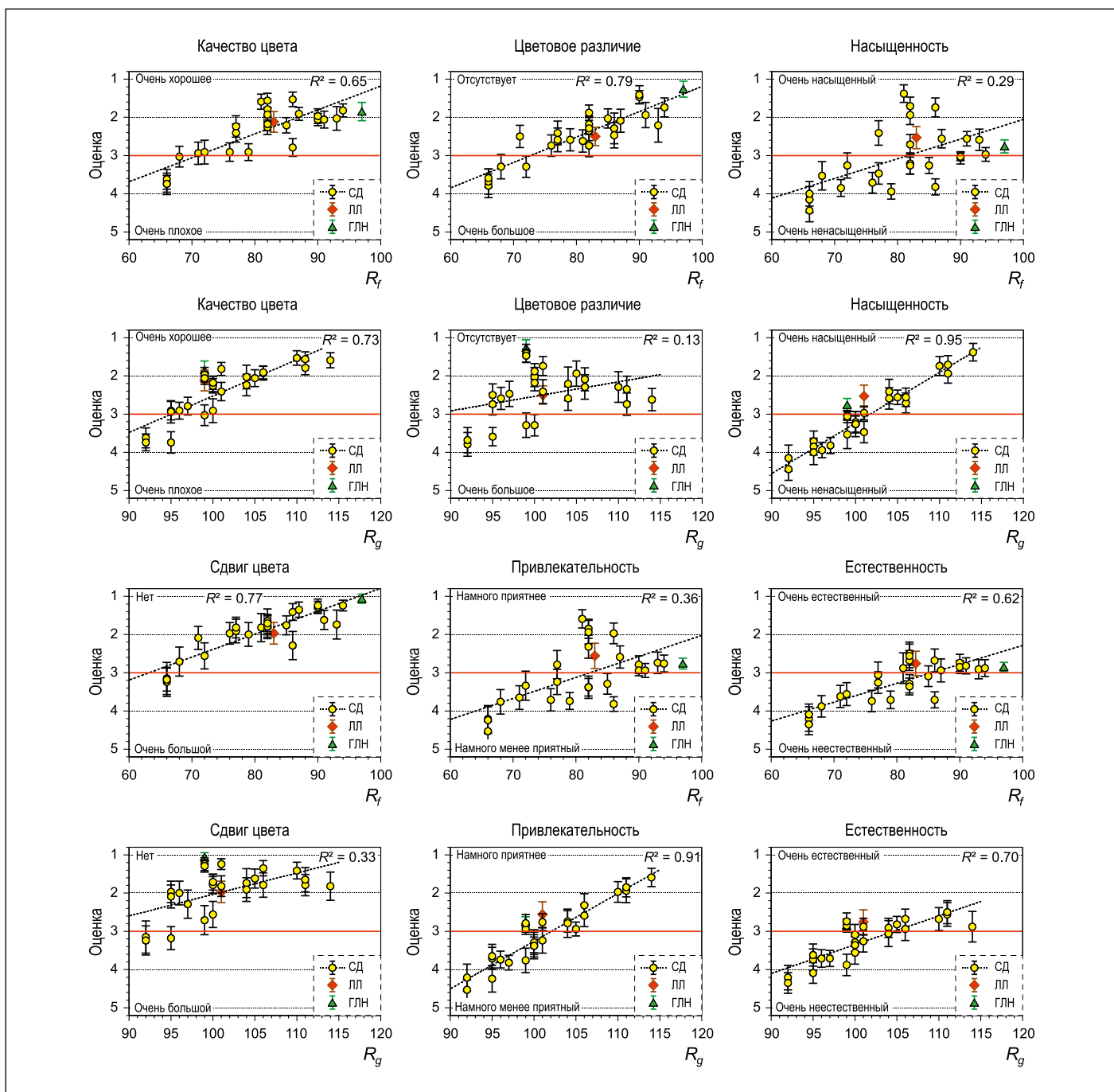


Рис. 6. Субъективные оценки (средние значения и доверительные интервалы) ( $CI_{95\%}$ ) для  $R_f$  и  $R_g$ . Аппроксимирующие прямые были проведены для всех оценок СД освещения. Соответствующие значения коэффициента детерминации  $R^2$  приведены на рисунке

#### 4. Результаты

На рис. 6 приведены графики, обобщающие полученные результаты. Указаны усреднённые значения оценок, сделанных всеми участниками ( $N = 34$ ), а «усы» соответствуют доверительными интервалам.

Из графиков и коэффициентов детерминации для линейной регрессии  $R^2$ , приведённых на рис. 6, и из табл. 1 следует, что субъективная оценка качества цвета представляет собой многомерную задачу, и что большое зна-

чение имеют оба показателя: и  $R_f$ , и  $R_g$ . Если значение  $R_f$  хорошо описывает цветовое различие, сдвиг цвета и восприятие цвета, как более тёплого или более холодного по сравнению с имеющим место при освещении лампой сравнения, то значение  $R_g$  точно отражает оценку насыщенности. Привлекательность освещения сильно зависит от того, насколько насыщенными выглядят цвета. Для оценки естественности важны оба показателя. При постоянстве  $R_f$  ЛСД обеспечивают тем большие привлекательность и насы-

щенность цвета, чем выше, до определённого предела, значение  $R_g$ . При увеличении  $R_g$  субъективная оценка цветопередачи улучшается. Индекс точности воспроизведения цвета  $R_f$  очень сильно коррелирует с индексом  $R_a$  МКО, так что эти показатели взаимозаменяемы. Ответы на вопрос об оправдании ожиданий в части цветов объектов, наблюдаемых при освещении исследуемыми источниками света и лампой сравнения, приведены на рис. 7 слева. На диаграмме приведена абсолютная частота, с которой



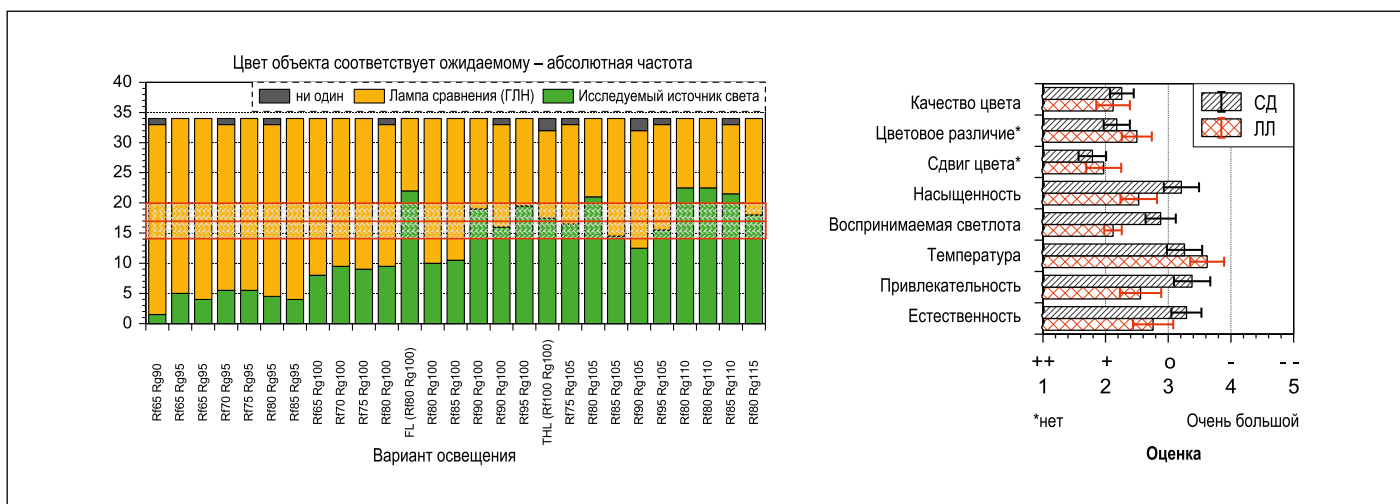


Рис. 7. Слева: абсолютная частота ответов, что цвета объектов соответствуют ожидаемым. Справа: ответы, относящиеся к СД ( $R_f = 80, R_g = 100$ ) и ЛЛ ( $R_f = 80, R_g = 100$ ); средние значения и доверительные интервалы ( $CI_{95\%}$ ),  $N = 34$

Таблица 2

**Сводка результатов сравнения СД и ЛЛ (приведены значения вероятности  $p$ ; статистически значимые результаты отмечены курсивом)**

$R_g$	95			100					105			
	75	80	85	75	80	85	90	95	75	80	85	
Качество цвета (CQ)	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Цветовое различие (CD)	1,000	1,000	1,000	1,000	0,082	0,277	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	1,000	1,000	0,622	
Сдвиг цвета (CS)	1,000	1,000	0,910	1,000	1,000	1,000	<i>0,000</i>	<i>0,002</i>	1,000	1,000	<i>0,030</i>	
Насыщенность (S)	0,000	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,002</i>	<i>0,037</i>	0,303	1,000	1,000	1,000	
Привлекательность (LA)	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,026</i>	<i>0,000</i>	<i>0,009</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Естественность (NN)	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	<i>0,000</i>	0,185	<i>0,036</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Заключение	ЛЛ существенно лучше			СД существенно лучше					Нет существенных различий			

наблюдаемые цвета объектов соответствуют ожиданиям. Ответы давались относительно того, справедливо ли это для одного из вариантов освещения в одной из камер (экспериментальной или сравнения), для обоих вариантов или ни для одного. Ответы «оба варианта» были разделены между освещением исследовавшимся источником света и освещением лампой сравнения.

Как показано на графике, если у исследовавшихся СД источников света значения показателей составляли  $R_f < 90$  и  $R_g \leq 100$ , то цвета объектов были не лучше ожидаемых. СД источники света с  $R_f \geq 80$  и  $R_g = 110$  оценивались выше, чем лампа сравнения. Исследовавшаяся ЛЛ ( $R_f = 80,$

$R_g = 100$ ) оказалась гораздо предпочтительнее лампы сравнения, и оценивалась выше, чем СД источники света с теми же самыми значениями  $R_f$  и  $R_g$ .

В табл. 2 приведена сводка результатов сравнительной оценки СД источников света и ЛЛ ( $R_f = 80, R_g = 100$ ). В таблице приведены значения вероятности  $p$  при статистической значимости  $\alpha = 0,05$ . При одних и тех же значениях  $R_f$  и  $R_g$ , общее качество цвета оценивалось одинаково, тогда как цвета объектов воспринимались как менее насыщенные, менее естественные и менее привлекательные, чем под светом ЛЛ (рис. 7, справа). Нет никаких существенных отличий между оценками, проведёнными применительно к СД освещению с  $R_f = 75,$

$R_g = 105$  и с  $R_f = 80, R_g = 105$ , и оценками, проведёнными применительно к ЛЛ. Это позволяет предположить, что небольшие различия в  $R_f$  уравниваются небольшим увеличением насыщенности.

## 5. Выводы

Цвет объекта (при сопоставлении его с цветом облучаемого лампой сравнения объекта) нельзя считать более привлекательным только исходя из значения индекса точности воспроизведения  $R_f$ . Этот индекс, равно как и индекс цветопередачи МКО  $R_a$ , служит для описания различий цветов только применительно к цветовому облику при сопоставлении с ос-

вещаемым лампой сравнения объектом. А это означает, что критерием для оценки всегда будет спектр лампы сравнения. При этом никто не говорит о том, под воздействием какого света – исследуемого источника или лампы сравнения – цветовой облик лучше. Имеет смысл использовать для оценки как индекс точности воспроизведения цвета, так и индекс цветовой гаммы, и обозначить задачи, которые следует решить при разработке источников света. Результаты данного исследования говорят о том, что полезным было бы следующее нормирование индексов:  $R_f \geq 80$  и  $R_g \geq 100$ . Воспринимаемая естественность цвета объекта связана как с  $R_f$ , так и с  $R_g$ , так как в этом отношении наблюдатели оценивали варианты освещения с  $R_f \geq 80$  и  $R_g \geq 100$  как равноценные освещению лампой сравнения или более хорошие. Полученные результаты согласуются с [7]. Высокая корреляция между значениями  $R_a$  и  $R_f$  (рис. 1) говорит о том, что полученные экспериментальные данные применимы и к индексу цветопередачи  $R_a$ .

Огромный вклад в создание экспериментальной установки и проведение исследований внесла компания OSRAM Opto Semiconductors GmbH H.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources. CIE13.3, 1995.
2. Narendran, N., Deng, L. Color Rendering Properties of LED Light Sources // Proc. of SPIE.– 2002. – Vol. 4776. – P. 61–67.
3. IES TM-30–15. IES Method for Evaluating Light Source Color Rendition/ Illuminating Engineering Society of North America, 2015.
4. Thornton, W.A. Color-discrimination index // J. Opt. Soc. Am.– 1972. – Vol. 62, No. 2. – P. 191–194.
5. Rea, M.S., Deng, L., Wolsey, R. Light Sources and Color // NLRIP Lighting Answers (Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY).– 2004. – Vol. 8, No. 1.
6. Xu, H. Color-rendering capacity of illumination // J. Opt. Soc. Am.– 1983. – Vol. 73, No. 12. – P. 1709–13.
7. Royer, M.P., Wilkerson, A., Wei, M., Houser, K., Davis, R. Human perceptions of colour rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape // Lighting Res. Technol.– 2016. – No. 0. – P. 1–26.



**Карин Биске (Karin Bieske),**  
Dr.-Ing. Научный сотрудник светотехнической группы Технического университета Ильменау. Активно участвует в работе ассоциаций

и комиссий в области освещения, цвета и стандартизации

**Улла Мария Хартвиг (Ulla Maria Hartwig),** М. Сс. Область научных интересов: цветопередача СД источников света



**Кристоф Ширц (Christoph Schierz),** Prof., Dr. Руководитель светотехнической группы Технического университета Ильменау. Член президиумов различных профессиональных объединений, активно участвует

в работах в области стандартизации, проводимых Немецким институтом стандартов, Европейским комитетом по стандартизации и МКО. Область научных интересов: использование света и цвета на рабочих местах с учётом физиологических характеристик глаза



**Александр Вильм (Alexander Wilm).** Окончил Регенсбургский университет прикладных наук (2004 г.). Старший эксперт в области освещения отдела общего освещения

компании OSRAM Opto Semiconductors GmbH H. Участвует в работе нескольких экспертных организаций в области общего освещения и внедрения СД освещения



**Каролин Хорст (Carolin Horst),** М. Сс. Эксперт по качеству света компании OSRAM Opto Semiconductors GmbH H.

## Георгий Боос – «Персона года 2017»

Президент Международной светотехнической корпорации «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» (BL Group), заведующий кафе-



дрой «Светотехника» НИУ «МЭИ», председатель отраслевого НТС «Светотехника» и редколлегии журнала «Светотехника» Георгий Боос был признан персоной года 2017 на Евразийской Светотехнической Премии «Золотой Фотон». Профессиональное сообщество оценило его огромный вклад в развитие отечественной светотехнической отрасли и формирование научного сообщества в области светотехники и проголосовало за Георгия Бооса большинством голосов.

МСК «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» также лидировала по пяти позициям – «Прорыв года», «Лучшая маркетинговая кампания года», «Улично-дорожное освещение», «Накладной светильник для внутреннего освещения» и «Продукт года» (в подноминации «Светодиодная панель, встраиваемая в потолок, типа «Армстронг»).

Евразийская Светотехническая Премия «Золотой Фотон» – это главная награда в светотехнической отрасли. Она призвана поощрять достижения компаний в разработке уникальной продукции, реализации значимых проектов, а также отмечать заслуги талантливых предпринимателей, формирующих светотехническую отрасль стран Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС).

bl-g.ru  
22.02.2918

# Измерение на месте фотометрических характеристик бетонного дорожного покрытия прибором COLUROUTE<sup>1</sup>

В. МЮЗЕ<sup>1,3</sup>, Ж. АБДО<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Компания *Cerema Est / Laboratoire de Strasbourg*, Страсбург, Франция

<sup>2</sup> Ассоциация *Cimbeton*, Париж, Франция

<sup>3</sup> E-mail: valerie.muzet@cerema.fr

## Аннотация

Стандартным инструментом, используемым для описания фотометрических характеристик дорожных покрытий, служат таблицы значений редуцированного показателя яркости (или  $r$ -таблицы), которые были составлены МКО в семидесятых годах прошлого века. Так как эти таблицы уже не отражают реальные характеристики дорожных покрытий, то для оптимизации осветительных установок и обеспечения требуемых уровней и равномерности яркости необходимо проводить измерения фотометрических характеристик дорожных покрытий. Целью настоящей работы было определение на месте фотометрических характеристик различных бетонов в зависимости от времени их эксплуатации. Первый эксперимент был проведён неподалёку от цементного завода применительно к двум разновидностям бетона (обработанного щёткой и обработанного струёй воды). Фотометрические характеристики этих покрытий измерялись при помощи портативного рефлектометра COLUROUTE на протяжении трёх лет. Выбранная обработка поверхности была реализована в тоннеле, и фотометрические характеристики покрытий измерялись на протяжении 30-ти месяцев. Было показано, что бетонные покрытия являются более диффузными и светлыми, чем классические дорожные покрытия, и их применение может привести к существенной экономии энергии.

**Ключевые слова:** бетон, экономия энергии, наружное освещение, фотометрирование дорожных покрытий, портативный рефлектометр.

## 1. Введение

Проектирование осветительных установок предполагает учёт конкретных геометрических параметров и фотометрических характеристик источников света, так и дорожного покрытия. При известных фотометрических характеристиках дорожного покрытия проектирование осветительных установок можно оптимизировать применительно к расположению осветительных приборов и энергосбережению. Для описания отражательных свойств дорожных покрытий, служат таблицы значений редуцированного показателя яркости (или  $r$ -таблицы) [1, 2]. Для упрощения расчётов произведена классификация на основе показателя зеркальности (*specularity coefficient*)  $S_1$ . Соответствующие стандартные таблицы были составлены МКО. При этом МКО рекомендует масштабировать выбранную таблицу в соответствии с измеренным значением показателя освещённости  $Q_0$  [2]. Так как фотометрические характеристики, как правило, неизвестны, то при проектировании освещения используется одна стандартная  $r$ -таблица без какого бы то ни было масштабирования [3]. А это приводит к суще-

ственным ошибкам [4, 5]. Более того, исследования показали, что большое значение имеет изменение фотометрических характеристик во времени и что эти таблицы уже не являются характерными [6, 7]. В связи с этим, для оптимизации осветительных установок и обеспечения требуемых уровней и равномерности яркости необходимо проводить измерения фотометрических характеристик дорожных покрытий.

Считается, что бетонные покрытия являются более диффузными и светлыми, чем классические дорожные покрытия [8]. Цель данной работы состояла в определении фотометрических характеристик бетонных покрытий в зависимости от срока их эксплуатации, сравнении результатов полевых и лабораторных измерений и расчёте возможной экономии энергии. Эта работа проводилась в рамках 6-летнего договора о сотрудничестве между французскими ассоциациями производителей цементных и бетонных дорожных покрытий *CIMBETON* и *SPECBEA* и компанией *Cerema*, которая отвечала за проведение измерений и технических оценок.

## 2. Материал и методы

### 2.1. Введение в дорожное освещение

$r$ -таблица представляет собой двухмерную таблицу с рядом стандартизированных сочетаний угла падения света  $\gamma$  и угла отклонения  $\beta$ , границы которых определяют собой телесный угол  $\Omega$  (рис. 1а). Угол наблюдения  $\alpha$  задаётся равным  $1^\circ$ , что соответствует водителю, смотрящему с расстоя-

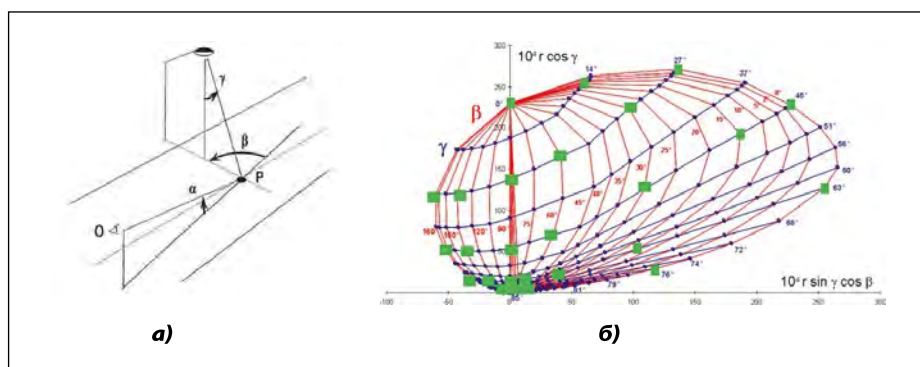


Рис. 1. а – значения фотометрических характеристик дорожного покрытия зависят от углов наблюдения ( $\alpha$ ), отклонения ( $\beta$ ) и падения ( $\gamma$ ) (согласно [2]). О – водитель, P – точка наблюдения; б – индикатриса отражения дорожного покрытия. Углы отклонения  $\beta$  обозначены красным цветом, углы падения  $\gamma$  – синим цветом, а положение источников света прибора COLUROUTE – зеленым цветом

<sup>1</sup> По материалам доклада на конгрессе *Lux Europa-2017*.

Перевод с англ. Е.И. Розовского.



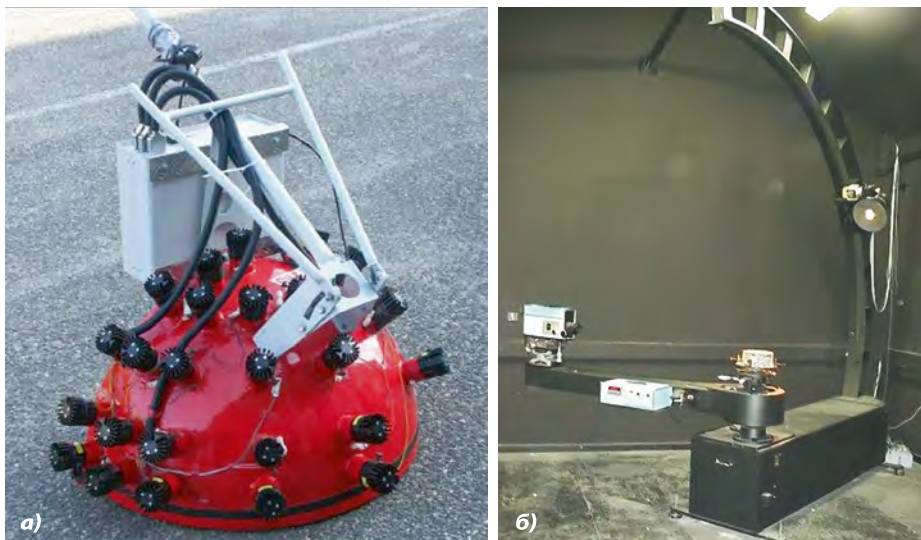


Рис. 2. а – прибор COLUROUTE компании Cerema (Страсбург); б – гониофотометр компании Cerema (Клермон-Ферран)

ния примерно 100 м [1]. Редуцированный показатель яркости  $r$  описывается выражением:

$$r(b, g) = (L(b, g)/E_h) \cdot \cos^3 g = q(b, g) \cdot \cos^3 g \quad (1)$$

где  $L$  – яркость в направлении наблюдателя, кд/м<sup>2</sup>,  $E_h$  – горизонтальная освещённость, лк.

Для описания покрытия служат его показатели зеркальности  $S_1$  и освещённости  $Q_0$ . Эти два параметра рассчитывают на основе вышеупомянутой матрицы, которую называют  $r$ -таблицей. Графическим представлением  $r$ -таблицы служит индикатриса отражения (рис. 1б). Её объём соответствует показателю освещённости:

$$Q_0 = \int_0^{\Omega} \frac{q(\beta, \text{tg } \gamma) \cdot d\Omega}{\Omega} \quad (2)$$

а её форму отражает показатель зеркальности

$$S_1 = \frac{r(\beta = 0, \text{tg } \gamma = 2)}{r(\beta = 0, \text{tg } \gamma = 0)} \quad (3)$$

## 2.2. Прибор COLUROUTE

Портативный измерительный прибор COLUROUTE (акроним французского названия «COefficient de LUminance des ROUTEs» (показатель яркости дороги)) был разработан компанией Cerema в соответствии с рекомендациями МКО [9]. При помощи этого прибора (рис. 2а) измерения показателей яркости дорожных покрытий производятся на месте при дневном свете и без взятия образцов.

COLUROUTE снабжён датчиком, направленным на измеряемую поверхность под углом 1°, и содержит 27 источников света, расположенных таким образом, чтобы последовательно освещать эту поверхность при разных сочетаниях углов  $\beta$  и  $\gamma$  (рис. 2б). Эти углы были целенаправленно выбра-

ны таким образом, чтобы обеспечить возможность расчёта показателя зеркальности  $S_1$  и при помощи интерполяции сформировать полную таблицу коэффициентов отражения дорожного покрытия. Калибровка осуществляется на месте при помощи образцовых пластинок, измеренных в лаборатории при помощи гониофотометра [10]. Полученные результаты позволяют сформировать таблицу значений редуцированного показателя яркости ( $r$ -таблицу) и определить значения показателей освещённости  $Q_0$  и зеркальности  $S_1$ . При помощи этого портативного прибора можно исследовать большое количество участков и увеличить количество измерений без ущерба для дорожного покрытия.

## 2.3. Экспериментальная установка

Целью этого 3-летнего исследования было определение фотометрических характеристик различных бетонов в зависимости от времени их эксплуатации и выбор состава дорожного покрытия для тоннеля. Фотометрические характеристики двух покрытий измерялись как на месте при помощи прибора COLUROUTE, так и в лабораторных условиях с использованием цилиндрических образцов и гониофотометра компании Cerema. Измерения проводились неподалёку от цементного завода, расположенного около г. Лиона, Франция (рис. 3а). Новое бетонное покрытие изготавливалось из местных минеральных отложений, цвет которых представлял собой более или менее светлую смесь коричневого и бежевого цветов. Для получения двух различных макроструктур использовались два способа обработки поверхности: щёткой и струёй воды. Эксплуатация дороги осуществлялась



Рис. 3. а – место проведения экспериментальных исследований; б – вид тоннеля Sinard; в – фотография бетона, обработанного щёткой (начальная стадия)

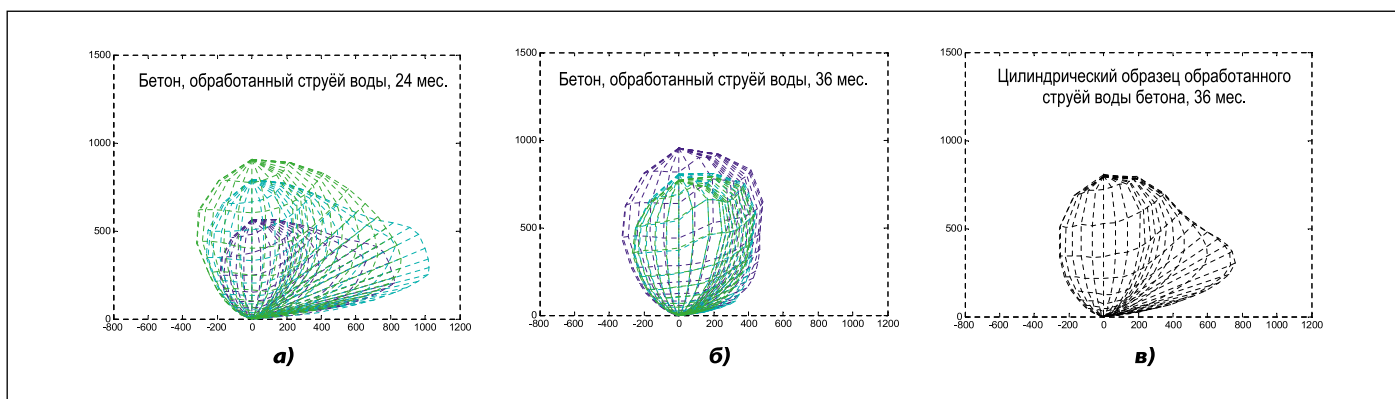


Рис. 4. Индикатрисы отражения обработанного струёй воды бетона, измеренные на месте прибором COLUROUTE после 24-х (а) и 36-ти (б) месяцев эксплуатации. Результаты трёх измерений показаны синим, голубым и зелёным цветом; в – результаты измерений, проведённых при помощи лабораторного гониофотометра применительно к цилиндрическому образцу, извлечённому после 36-ти месяцев эксплуатации. Оси показаны на рис. 16

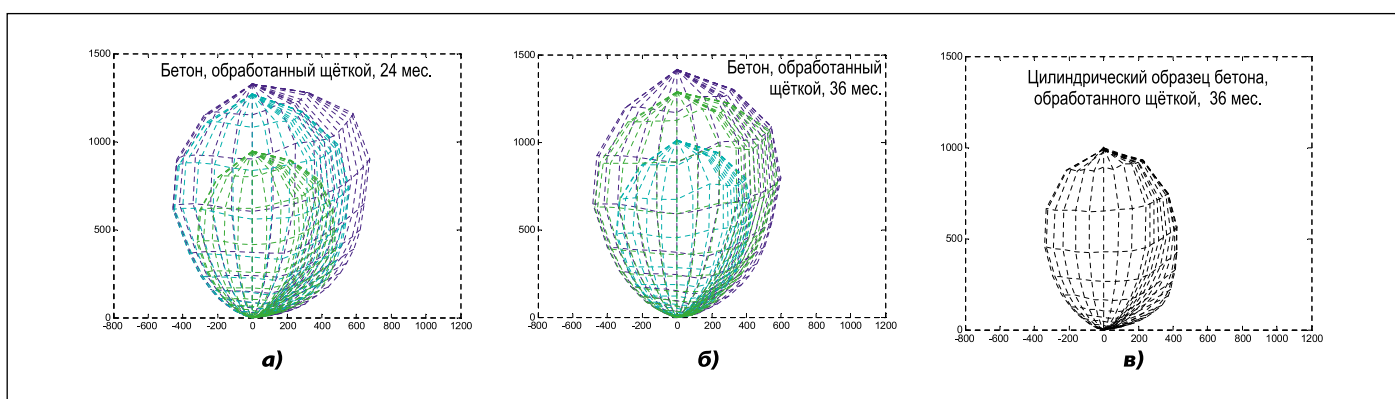


Рис. 5. Индикатрисы отражения бетона, обработанного щёткой, измеренные на месте прибором COLUROUTE после 24-х (а) и 36-ти (б) месяцев эксплуатации. Результаты трёх измерений показаны синим, голубым и зелёным цветом; в – результаты измерений, проведённых при помощи лабораторного гониофотометра применительно к цилиндрическому образцу, извлечённому после 36-ти месяцев эксплуатации. Оси показаны на рис. 16

грузовиками, вывозящими свежий бетон с завода. Чтобы избежать пыли, бетонные поверхности всегда увлажнялись. Мы считаем, что наличие песка и воды ускорило износ.

Тоннель *Sinard* (длина 980 м), расположенный к югу от Гренобля на магистрали *A51*, является одним из не многих французских тоннелей с бетонным дорожным покрытием (рис. 3б). Это неармированное и не имеющее стыковочных штырей бетонное покрытие на дренажном бетонном основании. Верхний слой бетонного покрытия обрабатывался жёсткой щёткой в поперечном направлении транспорта для формирования шероховатости, необходимой для сцепления шин с дорожным покрытием (рис. 3в). Поверхность бетона содержит дроблёные материалы, обеспечивающие повышенное сцепление шины с дорогой после относительного износа дорожного покрытия вследствие обработки щёткой только что уложенного бетона. Фотометри-

ческие характеристики этого покрытия на протяжении 30-ти месяцев регулярно измерялись при помощи прибора *COLUROUTE*.

### 3. Результаты

#### 3.1. Предварительные исследования

В рамках предварительных исследований, по три измерения каждого из покрытий (*M1*, *M2*, *M3*) проводились при помощи прибора *COLUROUTE* с интервалом 6 месяцев, и по одному цилиндрическому образцу было взято для лабораторных исследований. Полученные результаты приведены в табл. 1 для обработанного струёй воды бетона и в табл. 2 для обработанного щёткой бетона.

Независимо от методики измерений, показатель освещённости для обоих покрытий со временем увеличивался, достигнув значения, равно-го примерно 0,15. Согласно резуль-

татам измерений, проведённых при помощи прибора *COLUROUTE*, показатель зеркальности обработанного струёй воды бетона по истечению 2-х лет существенно увеличился (до соответствующего покрытию класса *R3*) (рис. 4а), однако по истечению 3-х лет он вновь вернулся к значению, соответствующему покрытию класса *R2* (рис. 4б). В случае обработанного щёткой бетона показатель зеркальности остаётся небольшим, соответствующим покрытию класса *R1* (рис. 5). Измеренные в лаборатории на цилиндрическом образце значения показателя зеркальности (рис. 4в и 5в) обычно были выше, чем измеренные в полевых условиях. Это, возможно, связано с наличием запылённости в окрестностях цементного завода, которая могла повлиять на результаты проводившихся на месте измерений. Как бы то ни было, результаты и гониофотометрических измерений, и измерений, проводившихся при помощи прибора *COLUROUTE*, говорят о том, что у об-





Рис. 6. Фотографии обработанного струёй воды бетона (а – исходное состояние, б – после 2-х лет) и обработанного щёткой бетона (в – исходное состояние, г – после 2-х лет)

Таблица 1

Результаты для обработанного струёй воды бетона ( $m$  – номер месяца)

Обработанный струёй воды бетон	Показатель освещённости $Q_0$					Показатель зеркальности $S_I$				
	$T_0$	$T_{3m}$	$T_{12m}$	$T_{24m}$	$T_{36m}$	$T_0$	$T_{3m}$	$T_{12m}$	$T_{24m}$	$T_{36m}$
<i>COLUROUTE M1</i>	0,090	0,088	0,095	0,154	0,165	0,11	0,12	0,44	1,51	0,50
<i>COLUROUTE M2</i>	0,084	0,094	0,095	0,199	0,152	0,12	0,10	0,86	1,36	0,54
<i>COLUROUTE M3</i>	0,089	0,120	0,096	0,187	0,139	0,20	0,13	0,46	1,03	0,46
<i>GONIO</i> (на цилиндрическом образце)	0,088	0,121	0,142	образца нет	0,157	0,23	0,72	0,86	образца нет	1,03

Таблица 2

Результаты для обработанного щёткой бетона ( $m$  – номер месяца)

Бетон, обработанный щёткой	Показатель освещённости $Q_0$					Показатель зеркальности $S_I$				
	$T_0$	$T_{3m}$	$T_{12m}$	$T_{24m}$	$T_{36m}$	$T_0$	$T_{3m}$	$T_{12m}$	$T_{24m}$	$T_{36m}$
<i>COLUROUTE M1</i>	0,141	0,120	0,112	0,191	0,181	0,09	0,14	0,27	0,43	0,30
<i>COLUROUTE M2</i>	0,120	0,149	0,140	0,176	0,136	0,08	0,16	0,28	0,36	0,25
<i>COLUROUTE M3</i>	0,152	0,105	0,117	0,139	0,175	0,08	0,14	0,33	0,51	0,24
<i>GONIO</i> (на цилиндрическом образце)	0,099	0,123	0,166	образца нет	0,138	0,09	1,10	0,80	образца нет	0,42

работанного щёткой бетона показатель зеркальности ниже, чем у обработанного струёй воды бетона.

Результаты фотометрических измерений демонстрируют важное воздействие эрозии в процессе эксплуатации дорожного покрытия, которое заметно на фотографиях, сделанных при каждом использовании прибора *COLUROUTE* (рис. 6). По истечении двух лет обработанная щёткой поверхность выглядела так же, как и обработанная струёй воды поверхность (рис. 6б и 6г).

Так как равномерное освещение легче реализовать в случае диффузно отражающего дорожного покрытия, то для тоннеля *Sinard* было выбрано обработанное щёткой дорожное покрытие, как имеющее меньший показатель зеркальности.

### 3.2. Эксперименты, проводившиеся применительно к тоннелю *Sinard*

В связи с невозможностью извлечения цилиндрических образцов из магистрали *A51*, измерения характеристик дорожного покрытия крайней правой полосы движения проводились на месте в течение 30-ти месяцев только при помощи прибора *COLUROUTE*. Измерения проводились в центре и в колее полосы. Показатель зеркальности во всех случаях оказывался относительно неизменным, тогда как в случае показателя освещённости различия могли достигать 30 % (рис. 7). Вначале (рис. 8а) обработанная щёткой поверхность бетона была не очень зеркальной (класс *R2*), что, возможно, было свя-

зано с присутствием остатков отвердителя. После 6-ти месяцев эксплуатации дорожное покрытие имело показатель освещённости, равный 0,1, то есть оно было очень близко к классу *R1* (рис. 8б). Наблюдалось большее количество зеркально отражающих свет участков, особенно в левой колее и в центре. После 18-ти и 30-ти месяцев эксплуатации (рис. 7 и 8в) покрытие оставалось в классе *R2*, но отражало свет лучше, чем типичные покрытия этого класса (показатель освещённости был равен 0,10 по истечении 18-ти месяцев и 0,09 по истечении 30-ти месяцев).

Энергетические последствия выбора такого бетонного покрытия были проанализированы при помощи программы *DIALUX* применительно к классической установке дорож-



Результаты расчётов при помощи программы *DIALUX* и соответствующее энергопотребление

Описание покрытия	$Q_0$	Мощность светильника, Вт	Энергопотребление, кВт/км	Экономия энергии, %
Стандартная $r_2$ -таблица (точка отсчёта)	0,070	54,7	1,89	0
$r_2$ -таблица, масштабированная применительно к классическому асфальтовому покрытию	0,054	70,6	2,43	-29
$r_2$ -таблица, масштабированная применительно к бетонному покрытию тоннеля <i>Sinard T30</i>	0,092	38	1,31	31

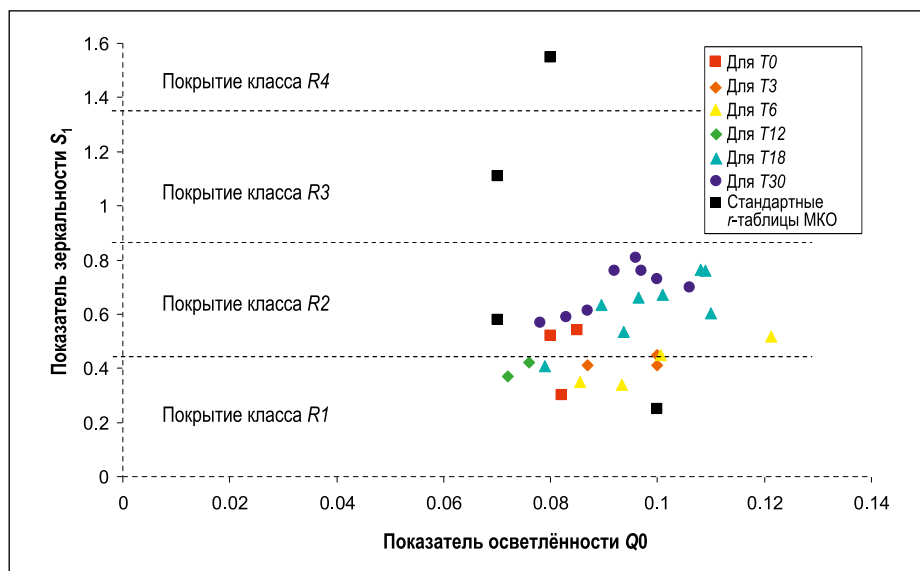


Рис. 7. Фотометрические характеристики из стандартных  $r$ -таблиц (чёрный цвет) и измеренные прибором *COLUROUTE* в тоннеле *Sinard*. Результаты, полученные в моменты времени  $T_0$ ,  $T_3$ ,  $T_6$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{18}$  и  $T_{30}$ , обозначены, соответственно, красным, оранжевым, желтым, зеленым, светло-синим и синим цветом

ного освещения со светильниками *Philips Iridium gen3 Led* и расстоянием между опорами, равным 29 м (высота 8 м). Расчёты были проведены для трёх вариантов: с использованием стандартной  $r$ -таблицы для покрытия класса  $R_2$ , с использованием стандартной  $r$ -таблицы для покрытия класса  $R_2$ , масштабированной приме-

нительно к 3-летнему классическому французскому чёрному асфальтовому дорожному покрытию [5], и масштабированной с использованием значения  $Q_0$ , измеренного по истечении 30-ти месяцев при помощи прибора *COLUROUTE*. Для выполнения требований к дорогам класса  $M_3$  по освещению [11], в случае стандартной

$r$ -таблицы для покрытия класса  $R_2$  потребовались светильники мощностью 54,7 Вт, тогда как для классического асфальтового покрытия и для покрытия, использовавшегося в тоннеле *Sinard*, потребовались светильники мощностью 70,6 и 38 Вт соответственно (табл. 3). Полученные значения энергопотребления подтверждают, что использование более светлого дорожного покрытия приводит к значительной экономии энергии.

#### 4. Заключение

Это предварительное исследование проводилось с целью выбора метода обработки поверхности бетона. Результаты измерений, проведенных в лаборатории, и результаты, полученные при помощи портативного прибора *COLUROUTE*, согласуются друг с другом. Имеющиеся расхождения зачастую связаны с процессом взятия образцов. В случае предварительных исследований, проводившихся в окрестности цементного завода, имело место осаждение пыли, которая удалялась при извлечении образцов. Независимо от метода измерений, обработанная щёткой поверхность бетона всегда имела меньший показатель зеркальности, чем обработанная

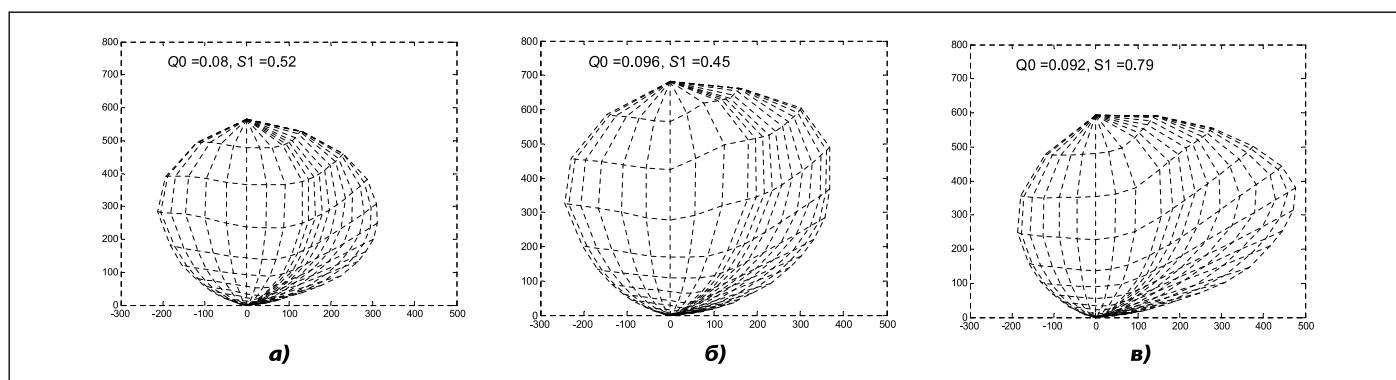


Рис. 8. Фотометрические тела дорожных покрытий в тоннеле *Sinard*, измеренные прибором *COLUROUTE* на новом покрытии (а) и в более после 6-ти (б) и 30-ти (в) месяцев эксплуатации

струей воды поверхность. Результаты, полученные в рамках предварительных исследований и в действующем тоннеле, соответствовали друг другу. Обработанная щёткой поверхность бетона была и остаётся светлой, а её зеркала остаётся умеренной, несмотря на влияние движения транспорта.

Исследование энергопотребления показало, что при учёте реальных характеристик бетонного дорожного покрытия, которое используется в тоннеле *Sinard*, расход энергии на освещение можно уменьшить на 46 % по сравнению с потреблением энергии в случае классического французского асфальтового дорожного покрытия. Это подчёркивает важность для проектировщика правильности выбора характеристик дорожного покрытия при составлении спецификации на тоннель и дорогу.

При проведении измерений на месте, количество измерений может быть увеличено, и средние результаты окажутся более достоверными, чем при отборе одного или двух цилиндрических образцов. Всё ещё требуется определить, сколько измерений и как следует произвести. Эти вопросы будут рассмотрены в рамках европейского проекта *Empir (SURFACE)*, который в настоящее время находится на ранней стадии реализации.

Авторы благодарят Дж.-Ф. Варгаса (*J-F Vargas*), Г. Лемонье (*G. Lemonnier*) и С. Горварта (*S. Horwarth*) за их вклад в эту работу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Road Surfaces and lighting, joint CIE/PIARC publication, CIE66–1984.
2. Road surface and road marking reflexion characteristics // *Tech. Rep.*, CIE144–2001.
3. *Dumont, E.* Photométrie des chaussées et éclairage public // *Etudes et Recherches des laboratoires des ponts et chaussées*, CR45, Ed. LCPC, 2007 (in french).
4. *Chain, C., Lopez, L., Verny, P.* Impact of real road photometry on public lighting design // Presentation at the 26<sup>th</sup> session of the CIE, July 4–11, 2007, Beijing, China.
5. *Dumont, E., Fournela, F., Muzet, V., Paumier, J-L., Venin, C.* Pavement reflection properties and luminance distribution: measurements on a road lighting test track and comparison with standard calculations // Poster at the 26<sup>th</sup> session of the CIE, July 4–11, 2007, Beijing, China.
6. *Dumont, E., Paumier, J-L.* Are standard tables R still representative of the properties of road surfaces in France? // Poster at the

26<sup>th</sup> session of the CIE, July 4–11, 2007, Beijing, China.

7. *Jackett, M., Frith, W.* Reflection properties of New Zealand road surfaces for road lighting design // Technical paper, IPENZ Transportation Group Conference Christchurch, 14 pp., March 2010.

8. *Ylinen, A.M., Pellinen, T., Valtonen, J., Putilakka, M., Halonen, L.* Investigation of pavement light characteristics // *Road material and pavement design*. – 2011. – Vol. 12, No. 3. – P. 587–614.

9. *Muzet, V., Paumier, J-L., Guillard, Y.* COLUROUTE: a mobile gonio-reflectometer to characterize the road surface photometry // CIE Int. Symp. on road surface characteristics, 9–10 July 2007, Torino.

10. *Paumier, J-L., Legoueix, G., Dupont, P., Aubert, F.* Propriétés photométriques des revêtements de chaussée // *CFTR-Info*, No. 14, 12 pp., Septembre 2006 (in french).

11. CEN EN13201–2:2015 «Road Lighting – Part 2: Performances requirements», December 2015.



**Валери Мюзет (Valérie Muzet),**

Ph.D. Окончила Страсбургский университет (1997 г.). Работает в исследовательской группе ENDSUM (неразрушающая оценка конструкций

и материалов) компании *Sereta*. На протяжении 15-лет участвует в разработке различных оптических приборов для измерения параметров дорог. Член рабочей группы WG2 технического комитета TC226 Европейского комитета по стандартизации, комитета TC4–50 МКО и Французского светотехнического общества. Руководит участием компании *Sereta* в европейском проекте *Empir (SURFACE)*. Область научных интересов: 3-мерное отображение дорог, фотометрия дорог и разметки



**Жозеф Абдо (Joseph Abdo),**

Ph.D. Окончил институт Mines Paris Tech (1982 г.). Заместитель директора по дорожным покрытиям ассоциации CIMBETON. Автор нескольких

технических справочников серии CIMBETON Collection, член редакционной коллегии Французского комитета по дорожному строительству

## Переизлучающие пигменты стали концентратором света для солнечных батарей

Учёные предложили новую конструкцию люминесцентного концентратора, позволяющего собирать солнечный свет с большой площади на небольшую солнечную панель из более эффективного, чем кремний, но дорогого материала (чтобы снизить стоимость таких панелей до экономически целесоо-



бразного уровня). В нём используются два пигмента, один из которых поглощает свет и переизлучает на второй, который уже переизлучает свет на солнечную панель, сообщается в журнале «*Nature Communications*».

Исследователи из Брауншвейгского технического университета предложили располагать солнечную панель в торце люминесцентного концентратора, большую часть которого занимает полимер с двумя флуоресцентными пигментами – донором и акцептором. Молекулы акцептора специально сильно вытянуты и в основном излучают свет «перпендикулярно», в отличие от молекул донора, излучающего более «равномерно». Пигменты-доноры располагаются в полимере хаотично, а акцепторы ориентированы вдоль плоскости солнечной панели. За счёт этого доноры поглощают солнечный свет, переизлучают, и переизлучённый свет попадает на молекулы акцептора, который, в свою очередь, тоже излучает в сторону солнечной панели или обратно, на которой расположена отражающая поверхность.

Излучение акцепторного пигмента, излучающего в сторону солнечной панели, имеет длину волны около 520 нм, что совпадает с максимумом поглощения соединения *InGaP*, на базе которых сегодня разрабатываются очень эффективные солнечные панели.

Исследователи протестировали разные концентрации пигментов и выбрали соотношение молекул донора к молекулам акцептора десять к одному. Они показали, что такое устройство может иметь квантовую эффективность перенаправления света определённой длины волны около 80 %, а также предложили создавать многослойные солнечные панели с такими концентраторами, в которых каждый слой будет содержать разные пигменты, поглощающие свет определённого спектрального диапазона.

В прошлом году учёные предложили повысить диапазон углов падения света для солнечных панелей с помощью материала со структурой, напоминающей крылья бабочки. Такая структура позволила повысить эффективность поглощения света примерно вдвое.

nanonewsnet.ru  
03.03.2018





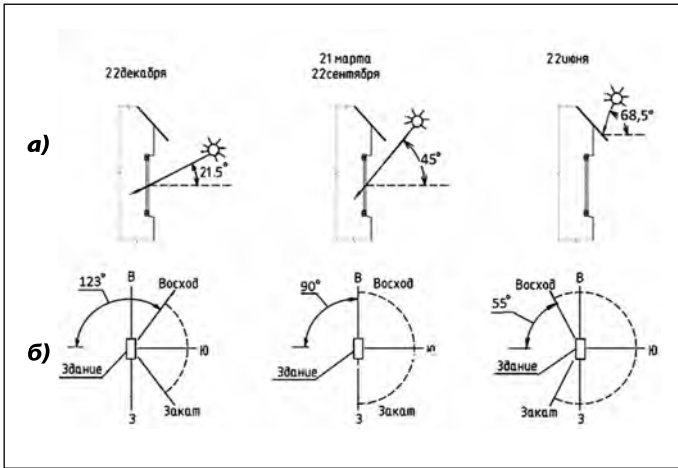


Рис. 2. Солнечные углы для фасада южной ориентации в Краснодаре (45° с.ш.): а – угловые высоты Солнца; б – азимуты восхода и захода Солнца

### Геометрическая модель процесса инсоляции

При проектировании СЗУ для учёта как пассивного охлаждения в тёплый период года, так и пассивного отопления в холодный период необходимо учитывать ориентацию фасадов здания и суммарную солнечную радиацию при действительной облачности в месте строительства.

Различия в положениях Солнца для разных ориентаций и времён года определяются по суточному конусу солнечных лучей (СКСЛ) (рис. 1).

В основе всех способов формообразования рациональных СЗУ лежит геометрия видимого движения Солнца по небосводу, а именно – геометрическая модель процесса инсоляции точки на земной поверхности в течение суток. Она представляет собой однопараметрическое множество солнечных лучей, приходящих в одну точку на земной поверхности в течение суток, и является СКСЛ. Использование СКСЛ – основа всех способов формообразования СЗУ и большинства способов определения продолжительности инсоляции. (Методику проектирования СЗУ с помощью СКСЛ см. в статье [5].)

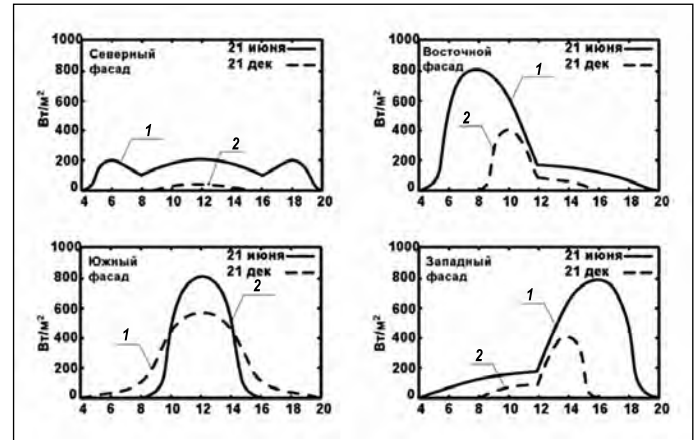


Рис. 3. Плотность потока солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности разной ориентации, в Белгороде (50° с.ш.) в зависимости от времени суток: 1 – лето; 2 – зима

Посредством СКСЛ, например, находятся следующие параметры инсоляции:

- угловая высота Солнца в полдень  $H^{\circ}_{12}$  для выбранного дня года (используется в расчётах параметров положения солнечных коллекторов и фотоэлектрических панелей);
- азимуты восхода ( $A^{\circ}_{\text{восх}}$ ) и захода ( $A^{\circ}_{\text{зах}}$ ) Солнца для выбранной даты (используются при определении продолжительности инсоляции);
- времена восхода и захода Солнца.

Горизонтальная плоскость  $\pi$  (рис. 1) рассекает полы конуса по двум образующим, которые на горизонтальной проекции указывают направления на восход ( $A_{\text{восх}}$ ) и заход ( $A_{\text{зах}}$ ) Солнца. А значения азимутов  $A^{\circ}_{\text{восх}}$  и  $A^{\circ}_{\text{зах}}$  для Краснодара показаны на рис. 2.

При проектировании СЗУ необходимо учитывать различия в количестве солнечной радиации на фасадах зданий разной ориентации в зимний и летний периоды года (рис. 3).

Рис. 4. Схематическая карта годовой суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, в условиях действительной облачности, кВт·ч/м<sup>2</sup>

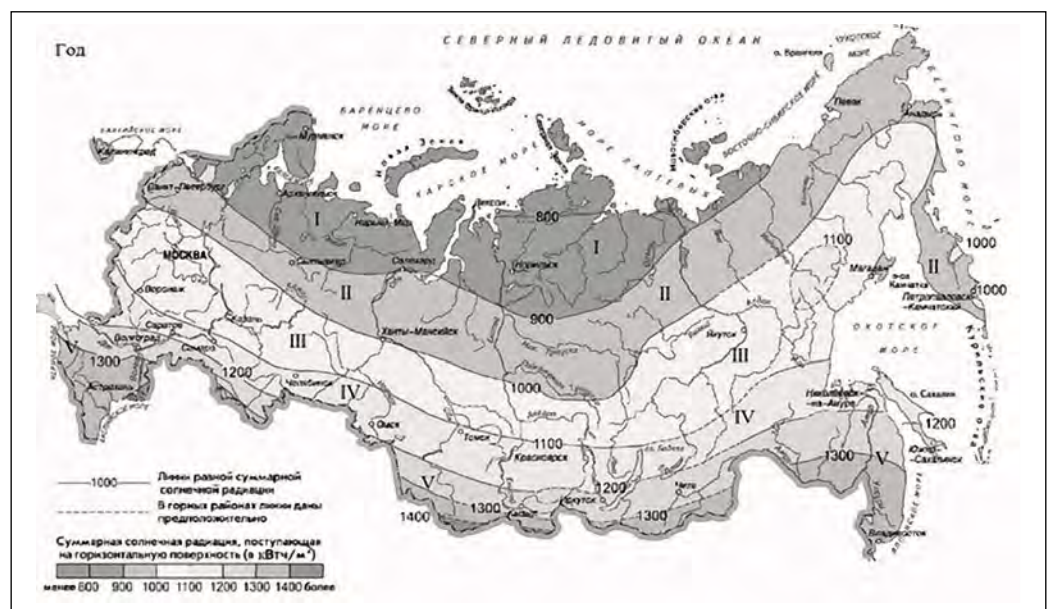




Рис. 5. Схематическая карта среднемесячных температур июля

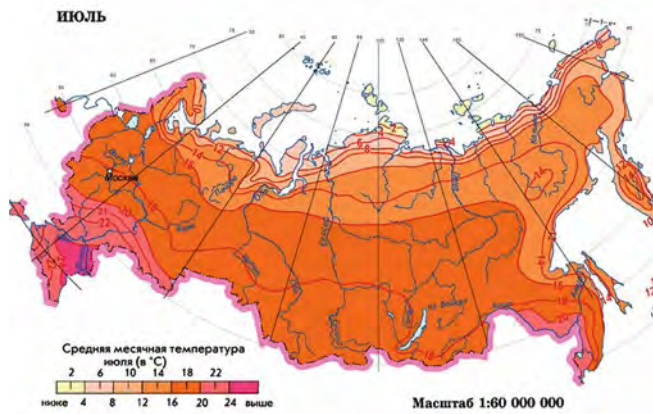
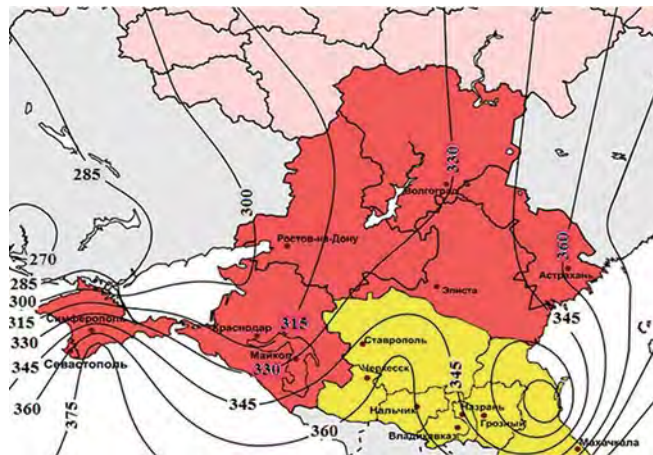


Рис. 6. Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность в июле, Вт·ч/м<sup>2</sup>



### Зонирование территории РФ по солнечной радиации и температуре наружного воздуха

На рис. 4 приведена карта зонирования территории РФ по суммарной солнечной радиации на горизонтальной поверхности при действительных условиях облачности, построенная по методике из СП [12] и справочным данным [13].

Были определены 5 основных зон по уровню суммарной годовой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, при действительных условиях облачности:

- первая зона – 900 кВт·ч/м<sup>2</sup> и менее;
- вторая зона – от свыше 900 до 1000 кВт·ч/м<sup>2</sup>;
- третья зона – от свыше 1000 до 1100 кВт·ч/м<sup>2</sup>;
- четвёртая зона – от свыше 1100 до 1200 кВт·ч/м<sup>2</sup>;
- пятая зона – свыше 1200 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

При этом следует предусматривать экранирование светопрозрачных конструкций в период охлаждения (период перегрева) зданий в зависимости от уровня суммарной солнечной радиации:

- в первой зоне – не регламентируется;
- во второй зоне – с 22 мая по 22 июля;
- в третьей и четвёртой зонах – с 22 апреля по 22 августа;
- в пятой зоне – с 22 марта по 22 сентября.

Указанные периоды охлаждения (периоды перегрева) здания влияют на выбор параметров СКСЛ [5].

Для обеспечения зрительного комфорта в помещениях и приватности в ночное время СЗУ и затеняющие

устройства следует предусматривать при всех ориентациях фасадов зданий, включая северные, в климатических районах, где в летнее время наблюдается полярный день.

В климатических районах с преобладанием солнечной погоды в холодный период года необходимо предусматривать возможность обеспечения пассивного солнечного отопления помещений для снижения энергетических затрат на работу систем отопления зданий.

На рис. 5 приведено районирование территории РФ по среднемесячной температуре июля, которое следует использовать для определения местоположения СЗУ относительно светопрозрачной конструкции.

В Крымском федеральном университете им. В.И. Вернадского были разработаны помесечные карты изолиний солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность в условиях действительной облачности, в Вт·ч/м<sup>2</sup>, что необходимо для расчёта тепловых поступлений через светопрозрачные конструкции. Для примера, на рис. 6 приведены соответствующие данные для Северо-Кавказского и Южного федеральных округов.

### Выводы

Для уменьшения воздействия вредных факторов прямой солнечной радиации на микроклимат помещений, в том числе перегрева, в период охлаждения зданий необходимо использовать их солнцезащиту. В качестве последней могут рассматриваться различные мероприятия – рациональная ориентация фасадов по сторонам горизонта, рациональная планировка помещений зданий (устройство лоджий, козырьков на фасадах, ориентированных по солнечным румбам горизонта и пр.), посадка зелёных насаждений у фасадов зданий, оборудование СЗУ светопрозрачных конструкций. Во всех случаях необходимо использовать солнечную геометрию, значения солнечной радиации и температуры наружного воздуха.

Более подробно основные принципы проектирования современных СЗУ будут рассмотрены в наших последующих публикациях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект СП «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования». – М.: НИИСФ РААСН, 2016.– 77 с.
2. Beck W. (ed), Dolmans D., Dutoo G., Hall A., Seppanen O. RENVA Guidebook No. 12: Solar Shading – how to integrate solar shading in sustainable buildings, 2010.– 82 p.
3. Hutchins M. Sonnergy report 15/498: High performance dynamic shading solutions for energy efficiency and comfort in buildings. – Sonnergy Limited, May 2015.– 147 p.
4. Штейнберг А.Я. Солнцезащита зданий / Под ред. А.Л. Подгорного. – К.: Будівельник, 1986.– 104 с.

5. Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О.В., Спиридонов А.В. Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 43–47.

6. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Моргунова М.А. Влияние особенностей климата Российской Федерации и ориентации здания на выбор типа стационарного солнцезащитного устройства // Биосферная совместимость. Человек, регион, технологии. – 2016. – № 4 (16). – С. 50–57.

7. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2011 «Будівельна кліматологія».

8. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

9. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

10. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение».

11. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076–01 «Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий».

12. СП 23–101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

13. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6, вып. 1–34. – СПб: Гидрометеоздат, 1989. – 1998 с.



**Дворецкий Александр Тимофеевич**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1971 г. Донецкий политехнический институт. Зав. кафедрой «Геометрическое и компьютерное моделирование энергоэффективных зданий» Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Советник РААСН



**Спиридонов Александр Владимирович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1975 г. МЭИ (специальность «Светотехника и источники света»). Зав. лабораторией «Энергосберегающие технологии в строительстве» НИИСФ РААСН. Президент Ассоциации производителей энергоэффективных окон (АПРОК). Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники



**Шубин Игорь Любимович**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1980 г. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Директор НИИСФ РААСН. Советник РААСН. Заслуженный строитель РФ. Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники



**Клевец Ксения Николаевна**, архитектор-градостроитель. Окончила в 2012 г. Национальную академию природоохранного и курортного строительства (Симферополь) и в 2015 г. – аспирантуру. Ассистент кафедры «Геометрическое и компьютерное моделирование энергоэффективных зданий» Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.А. Вернадского

## СЕССИЯ МКО В ЮЖНОЙ КОРЕЕ

С 20 по 25 октября 2017 г. в г. Чеджу-сити (Южная Корея) состоялась промежуточная сессия Междуна-



родной комиссии по освещению (МКО). Местом проведения сессии был выбран административный центр острова Чеджу-до, расположенного в Корейском проливе. Заседания проходили в крупнейшем отеле города Ramada Plaza. В работе форума приняли участие 342 делегата из 30 стран мира. Россию представляла делегация ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»: А.Г. Шахпаруянц, А.А. Барцев, А.А. Коробко.

Перед началом конференции проходили заседания директоров отделений, Административного совета и Генеральной ассамблеи МКО. Генеральная ассамблея, в работе которой от России принимала участие Президент Российского Национального Комитета (РНК) МКО А.Г. Шахпаруянц, утвердила новый состав руководства МКО на следующий четырехлетний цикл 2019–23 гг. Новым президентом МКО станет нынешний директор отделения 2 доктор Питер Блаттнер (Peter Blattner) – руководитель лаборатории оптики Национального института метрологии Швейцарии (METAS).

Другим важным вопросом явилось утверждение решения о слиянии отделений 4 «Освещение и сигнализация для транспорта» и 5 «Наружное освещение и другие применения» в обновлённое отделение 4, названное «Освещение для транспорта и наружное освещение». Причина слияния связана с тем, что из-за близости тематики многие специалисты, как правило, участвовали в работе обоих отделений, а некоторые одновременно являлись их членами.

На открытии конференции с приветствиями к участникам выступили Президент МКО доктор Йошихиро Оно (Yoshihiro Ohno) из Национального института стандартов и технологии США (NIST) и глава местного организационного комитета, Президент корейского национально-го комитета МКО доктор Соннам Пак (Seungnam Park).

В первой половине каждого дня сессии представлялись пленарные доклады (всего 5), во второй половине участники распределялись по трём секциям, где заслушивали секционные (всего 70) и устные постерные (всего 55) доклады по основным направлениям деятельности МКО. В холле конференц-зала была организована постерная сессия, где на стендах были представлены 110 докладов, в том числе доклад Барцева А.А., Столяревской Р.И. и Шахпаруянц А.Г. «Испытательный центр ВНИСИ в системе оценки качества современного осветительного оборудования в России». Кроме того, в рамках конференции проводились научные семинары (Workshops) по семи заявленным темам. По окончании конференции проходила работа отделений и технических комитетов (ТК) МКО.

Участие в работе конференции, а также отделений и ТК позволило возобновить старые и наладить новые контакты с ведущими специалистами-светотехниками и получить последнюю информацию по интересующей тематике.

Коробко А.А., к.т.н.,  
член отделения 5 МКО



# Анализ ошибок рельефа рассеивающих микроструктур в моделировании светопроводящих систем

Н.Н. БОГДАНОВ, А.Д. ЖДАНОВ, Д.Д. ЖДАНОВ, И.С. ПОТЁМИН

Университет ИТМО, Санкт-Петербург

E-mail: nnbogdanov@corp.ifmo.ru

## Аннотация

Рассматриваются основные технологические подходы к изготовлению светопроводящих систем с рассеивающими микроструктурами с особым вниманием к влиянию способа обработки оптического материала на геометрические параметры формируемой микроструктуры. Актуальность этого вызвана недостаточностью проработки вопросов влияния искажения формы микроструктурных рассеивающих элементов (из-за технологических особенностей их изготовления) на выходное распределение яркости светопроводящих систем. На примере светопроводящей системы, изготовленной по технологии фрезерования, проведено физически корректное моделирование этой системы и показано влияние рельефа микроструктуры на выходное распределение яркости. Для моделирования использовался программный комплекс «Lumicept», обеспечивающий физическую корректность результатов моделирования.

**Ключевые слова:** светопроводящая пластина, рассеивающие микроструктуры, ошибки микрорельефа, светодиодные панели освещения, компьютерное моделирование, распределение яркости, проектирование, светопроводящие осветительные устройства.

## 1. Введение

В настоящее время на освещение расходуется порядка 20 % всей вырабатываемой в мире электроэнергии [1], что делает актуальной задачу снижения энергопотребления всех осветительных устройств (ОСУ). В мире уделяется большое внимание вопросам проектирования [2–4] и производства [5, 6] энергоэффективных и эргономичных специальных ОСУ со светопроводящими системами. К таким ОСУ можно, в частности, отнести: тонкие светодиодные панели;

ОСУ заднего освещения ЖК-дисплеев; ОСУ салонов самолётов, автомобилей, приборных панелей и рекламных щитов.

Данная тематика вызывает большой интерес у таких ведущих мировых производителей, как *Asahi Kasei*, *Denso*, *Panasonic*, *Fiji-Film*, *Toshiba* и др. Так, японская компания *Denso* производит широкий спектр светопроводящих ОСУ для приборных панелей, основанных на технологиях рассеивающих микроэлементов [7], корейские *Samsung* и *LG* на базе рассеивающих микроэлементов производят оптоэлектронные устройства массового потребления [8, 9], а российские компании «Квазар» и «ВОЛО» разрабатывают светопроводящие системы с рассеивающими микроэлементами для оборонной промышленности. Многочисленные патенты, касающиеся специфики формирования геометрии и параметрических функций распределения рассеивающих микроструктурных элементов, а также публикации в ведущих научных журналах и трудах международных конференций (*Proc. SPIE*, *Optical Engineering*, *Applied Optics*, *Optical Review* и др.) по проблемам физически корректного моделирования и проектирования светопроводящих ОСУ [10–13] говорят о большом интересе к данному вопросу.

Равномерность распределения излучения по светопроводящим устройствам обеспечивается микрогеометрическими элементами (светорассеивающими микроструктурами), нанесёнными на поверхность светопроводящего элемента. Моделирование оптимальной структуры микроэлементов – достаточно сложная задача, требующая значительных вычислительных ресурсов. Как правило, результатом проектирования являются форма рассеивающих элементов, их координаты и ориентация на поверхности светопроводящей пластины.

Одна из основных проблем проектирования ОСУ данного вида заключается в том, что результаты проектирования, основанные на физически корректных законах распространения света, могут отличаться от реальных светотехнических характеристик изготовленного ОСУ. Ошибки проектирования могут объясняться отсутствием данных о способе изготовления светопроводящих систем и технологических особенностях формирования рассеивающих микроструктур, необходимых для построения корректной модели, используемой при проектировании.

В настоящей статье предлагается метод моделирования ошибок изготовления рассеивающих микроструктур на примере проектирования светопроводящих ОСУ заднего освещения ЖК-дисплеев, а также рассматриваются способы формирования микрогеометрических элементов с описанием возможных дефектов их изготовления.

## 2. Технологии нанесения микрогеометрических элементов на оптическую поверхность

Размеры микроэлементов обычно составляют десятки микрометров и для их изготовления требуются особые технологии. Современное технологическое оборудование позволяет формировать микроэлементы для светотехнических систем с высокой точностью и приемлемым качеством. Существует несколько способов производства микроэлементов. Основные из них – горячая штамповка, шелкография, гравировка и фрезеровка.

### 2.1. Горячая штамповка

Горячая штамповка является пространственным процессом производства изделий из полиметилметакрилата (ПММА) и поликарбоната и применяется для изготовления геометрических форм, размеры которых составляют десятки и сотни микрометров. Посредством штамповки возможно формирование светорассеивающих микроэлементов, к которым предъявляются высокие требования по толщине и качеству поверхности. Горячая штамповка выполняется поэтапно. Предварительно нагретую до температуры размягчения (140–190 °С) заготовку из ПММА устанавливают под пресс, а затем создают кон-

такт между оптической поверхностью и прессом, придавая заготовке требуемую форму [14]. По завершении формирования готовое изделие охлаждают в форме.

В ходе прессования могут возникать волнообразные искажения поверхности (механические волны), которые при охлаждении заготовки застывают [15]. Такие искажения оказывают существенное влияние на характер рассеяния света микроструктурой, что влияет на пространственное распределение яркости светопроводящего ОСУ и может привести к его отличию от расчётного распределения.

## 2.2. Шелкография

Шелкография – ещё одна из распространённых технологий нанесения микроструктур на плоскую оптическую поверхность. (Её также называют трафаретной печатью.) Данная технология подразумевает нанесение слоя светорассеивающего состава толщиной в несколько десятков микрон, обладающего хорошей стойкостью и долговечностью.

При выполнении шелкографии на поверхность изделия через специальный трафарет наносится эмульсионный слой, а поверх него – светорассеивающий состав. С помощью УФ источника излучения эмульсионный слой облучается, и те участки этого слоя, куда излучение «попало», отверждаются, а остальные (необлучённые) участки вымываются. В процессе печати на поверхность изделия через свободные от эмульсии участки сетки продавливают светорассеивающий состав. (В качестве светорассеивающих материалов могут использоваться водные и сольвентные красящие составы, пастизольевые УФ краски и УФ лак.) Наносимые составы в процессе печати под действием УФ излучения отверждаются (полимеризуются). При этом трафарет обычно выполняют с использованием особой сетки из нейлоновых или металлических нитей.

Шелкография считается быстрой и экономной технологией изготовления светопроводящих систем [16]. Однако формируемые ею микроструктуры могут быть неоднородны и неодинаковы, а их форма может быть далёкой от требуемой [17].

## 2.3. Гравировка и фрезеровка

Для выполнения лазерной гравировки на ПММА используют  $CO_2$ -лазер с длиной волны 10,6 мкм [18]. ПММА обладает высоким коэффициентом поглощения на данной длине волны, что позволяет (в зависимости от потока излучения лазера) осуществлять гравировку или резку материала. При воздействии этого излучения на материал происходит его испарение. Толщина испарённого слоя зависит от времени воздействия излучения. Точная механика, используемая на современных лазерных станках, позволяет перемещать лазерный луч по заданным линиям с точностью позиционирования до 25 мкм, что позволяет получать микрогеометрические элементы размером от 250 мкм. Тем не менее лазерная гравировка обладает рядом недостатков. В частности, невозможно получать абсолютно одинаковый микрорельеф на всей поверхности, с которой испаряется материал, что влияет на угловую диаграмму рассеивания света [19]. С помощью лазера можно обрабатывать и неплоскую поверхность, но для этого необходимо дополнительное механическое оборудование.

Что касается фрезеровки, то она рассчитана на изготовление микроструктур размером в сотни и тысячи микрон. Фрезерная обработка плоской поверхности ПММА широко распространена [20]. Фреза перемещается по рабочему полю и в местах расположения микрострук-

турных элементов срезает слой светопроводящей пластины. Отработанные остатки материалов удаляются воздухом с поверхности заготовки. Фрезерную обработку можно применять и для изготовления криволинейных светопроводящих систем. Для этого по окончании фрезеровки необходимо с помощью специальной оснастки придать заготовке необходимую форму, а затем охладить. По завершении этих этапов формируется криволинейная поверхность со светорассеивающими микроэлементами. Для обеспечения высокой точности формирования микроэлементов предъявляются высокие требования к остроте режущего инструмента, удалению отработанных продуктов и обеспечению чистоты обрабатываемой поверхности.

У всех вышеописанных технологий изготовления микроструктур есть свои особенности, которые надо учитывать при моделировании. С одной стороны, это могут быть остаточные продукты горения при лазерной обработке ПММА, плохая повторяемость формы микроэлементов, царапины на поверхности от работы фрезы и т.п. С другой стороны, могут сформироваться случайно ориентированная шероховатость (а не зеркальная поверхность) или застывшие механические волны на поверхности, вокруг микроэлементов. Всё это существенно влияет на корректность построенной модели, и при необходимости максимального сближения результатов расчётов и работы реальных систем не-

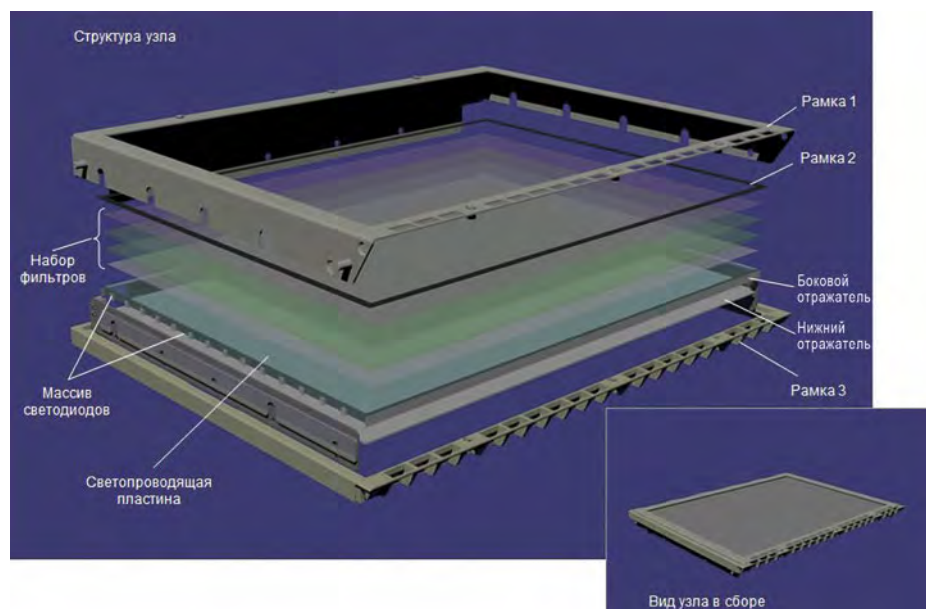


Рис. 1. ОСУ (узел) заднего освещения ЖК-дисплея



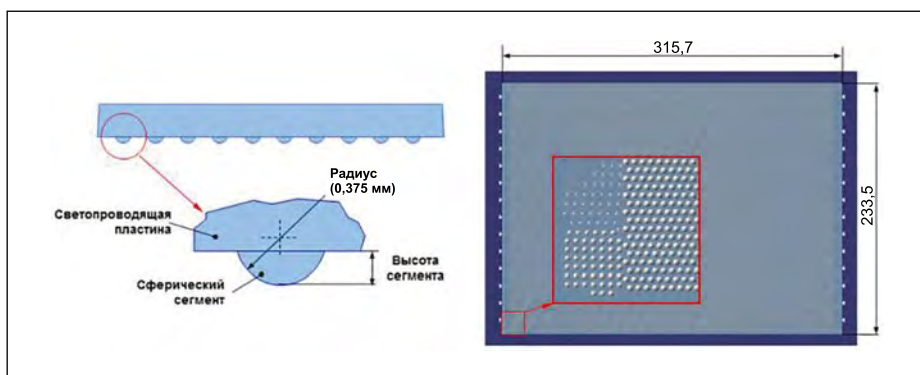


Рис. 2. Светорассеивающая микроструктура

положены с двух сторон пластины, излучают в видимом диапазоне и имеют КСС типа «Д».

Моделирование проводилось с использованием программного комплекса «Lumicept» [22]. По сравнению с аналогичными комплексами «ASAP» [23], «TracePro» [24], «LightTools» [25] и «SPEOS» [26] «Lumicept» обладает наиболее эффективным алгоритмом трассировки лучей и поддерживает практически все возможные (с точки зрения лучевой оптики) физические эффекты распространения излучения и преобразования его на оптических объектах. «Lumicept» имеет самую мощную и физически корректную модель формирования геометрических микроструктур и их пространственного распределения. Преобразование лучей в геометрической модели на микроэлементах также физически корректно. Всё это делает «Lumicept» оптимальным инструментом расчётного проектирования сложных ОСУ и анализа светового рассеяния в оптических устройствах.

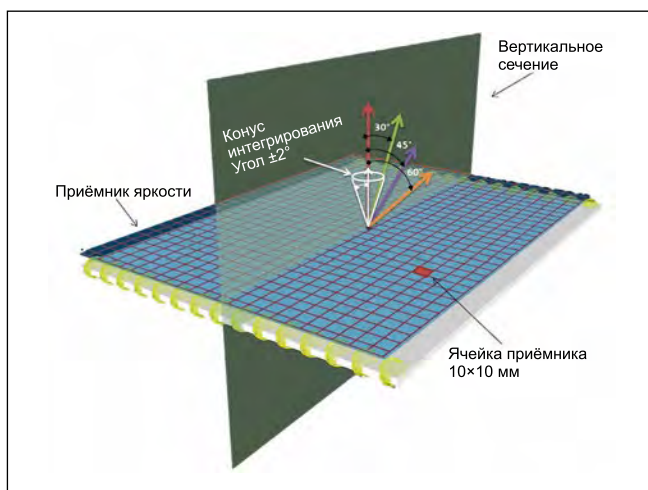


Рис. 3. Условия моделирования распределения яркости по выходной поверхности светопроводящей пластины

обходимо учитывать все возможные искажения. Авторами была поставлена и решена задача корректного моделирования светопроводящих систем, с учётом особенностей технологий их изготовления и согласованием результатов моделирования с реальным изделием. Некоторые исследователи, решая подобные задачи, пошли путём подбора параметров двунаправленной функции рассеяния поверхности элементов рассеивающей микроструктуры [21]. В данной статье предлагается альтернативный подход к корректному моделированию.

### 3. Пример и результаты

Рассмотрим согласование результатов измерений пространственного распределения яркости по выходной по-

верхности светопроводящей пластины с результатами моделирования на примере проекта ОСУ (узла) заднего освещения ЖК-монитора с торцевым вводом светового излучения (рис. 1).

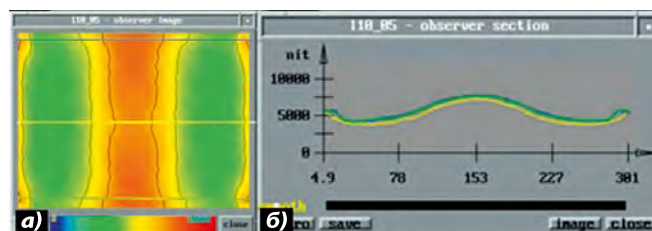
Модель светопроводящей пластины представляет собой параллелепипед из прозрачного ПММА (относительный показатель преломления 1,49 и коэффициент пропускания 0,92) с габаритными размерами по длине, ширине и толщине 315,7×233,5×4 мм соответственно. Под светопроводящей пластиной расположен диффузный отражатель (коэффициент диффузного отражения 0,89). На поверхности пластины задавалась микроструктура в виде массива из более ста тысяч сферических сегментов постоянного радиуса (400 мкм), но переменной высоты (рис. 2). 30 светодиодов рас-

В данном примере моделирования использовался метод прямой стохастической трассировки лучей. Расчёт параметров выходного излучения проводился с помощью модели приёмника яркости, расположенного в плоскости выходной грани светопроводящей пластины. Модель приёмника (рис. 3) состояла из 713 ячеек (31×23). Размер ячейки был 10×10 мм, а угол конуса интегрирования – ±2°. Направление наблюдения варьировалось в диапазоне от –60 до +60° с шагом в 15°.

При первых попытках моделирования распределения яркости поверхность каждого элемента рассеивающей микроструктуры задавалась идеально гладкой, т.е. без какого-либо микрорельефа на ней. Результаты моделирования представлены на рис. 4, где хорошо виден подъём уровня яркости в средней зоне светопроводящей пластины.

В то же время измеренное распределение яркости изготовленного экспериментального образца светопро-

Рис. 4. Результаты моделирования распределения яркости по поверхности светопроводящей пластины в случае идеально гладкой поверхности элементов микрогеометрии, представленные в псевдоцветах: а – пространственное распределение; б – распределение в отмеченных сечениях

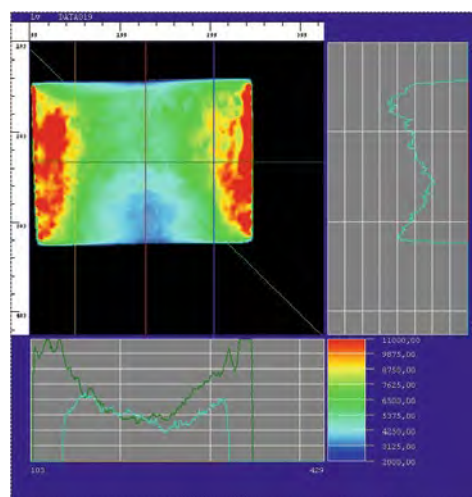


водящей пластины с рассеивающей микроструктурой (рис. 5) показывает заметный спад яркости в средней зоне выходной грани пластины, что существенно отличается от результатов моделирования, представленных на рис. 4. Такое несоответствие результатов измерения и моделирования потребовало проведения анализа для выяснения его причин.

Микроскопический анализ поверхности отдельного микроэлемента (рис. 6, а) обнаружил наличие на нём параллельных канавок (рис. 6, б), которые, очевидно, возникли при обработке пресс-формы режущим инструментом. Эти канавки имеют ярко выраженную регулярно-направленную структуру, что вполне может приводить к изменениям углового распределения выходящего из пластины света и тем самым оказывать существенное влияние на пространственное распределение яркости. К сожалению, пока ещё невозможны точные измерения ни двунаправленной функции рассеяния [27], ни мелкоструктурного рельефа на отдельном элементе микрогеометрии – сферическом сегменте. Поэтому была осуществлена попытка воспроизведения усреднённых параметров микрорельефа, наблюдаемого в микроскоп. На следующем этапе моделирования на поверхности каждого элемента микрогеометрии назначался микрорельеф в виде синусоидальных бороздок глубиной 1,2 мкм с периодом 3 мкм (рис. 6, в), оптические свойства которого не отличались от свойств светопроводящей пластины.

В первом модельном эксперименте канавки микрорельефа располагались параллельно более длинной стороне светопроводящей пластины, что соответствует нулевому углу отклонения рельефа. Как видно из рис. 7(1), при разных углах наблюдения яркость и её распределение на краях пластины варьируются. Во втором модельном эксперименте направление канавок микрорельефа было задано с отклонением в  $15^\circ$  для всех микроструктурных элементов. Соответственно, из рис. 7(2) видно, что распределение яркости на краях асимметрично, что ощутимо для углов наблюдения  $-60^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $+60^\circ$ . В третьем модельном эксперименте рельеф был повёрнут для всех микроэлементов на  $30^\circ$ . Соответствующее распределение яркости (рис. 7(3)) сильно зависит от

Рис. 5. Результат измерения распределения яркости по выходной грани изготовленного образца светопроводящей пластины



угла наблюдения, а асимметричность проявляется сильнее, чем в предыдущем эксперименте. Это позволяет заключить, что при изменении ориентации микрорельефа распределение яркости излучающей светопроводящей пластины меняет свою симметричность для разных углов наблюдения. В четвёртом модельном эксперименте проверялся характер влияния разнонаправленной ориентации микрорельефа. Каждая половина массива микроэлементов отклонялась на  $+15^\circ$  и  $-15^\circ$  соответственно. Полученные распределения яркости, представленные на рис. 7(4), сохраняют симметричность распределения. Однако с увеличением угла наблюдения до  $-60^\circ$  яркость на краях светопроводящей пластины падает.

Пятый модельный эксперимент отличался от четвёртого лишь углом отклонения рельефа ( $\pm 30^\circ$ ). Распределение яркости в этом случае симметрично (рис. 7(5)). При этом при больших углах наблюдения ( $-60^\circ$ ,  $-45^\circ$ ) яркость падает. При повороте микрорельефа на  $\pm 30^\circ$  и угле наблюдения  $0^\circ$  результат моделирования повторяет результаты измерений распределения яркости светопроводящей пластины. Причём различие средних значений яркости составило 13 %.

Модельные эксперименты показали, что «добавление» модели микрорельефа на микроструктурных элементах позволяет согласовывать между собой результаты расчётов и измерений. При этом пространственно-угловое распределение яркости зависит от ориентации микрорельефа.

#### 4. Заключение

Наличие дефектов оптической поверхности светопроводящих систем, возникающих при изготовлении микроструктурных рассеивателей оказывает существенное влияние на выходное светораспределение, энергоэффективность и эргономичность ОСУ в целом. Поэтому для получения корректных результатов моделирования светопроводящих систем необходимо знать и учитывать особенности технологии формирования микроструктурных рассеивающих элементов.

На примере моделирования светопроводящей пластины ЖК-дисплея с рассеивающими микроструктурами, выполненными путём горячей штамповки, было установлено, что рельеф микроструктурных элементов оказывает влияние на общее распределение яркости. Несмотря на то, что параметры микрорельефа, возникающего на

Рис. 6. Фотографии микроструктур рассеивающих элементов (а) и канавок на поверхности микроэлемента (б). Параметры рельефа канавок (в)

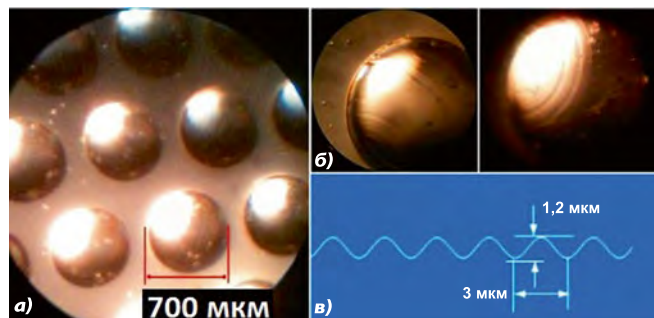
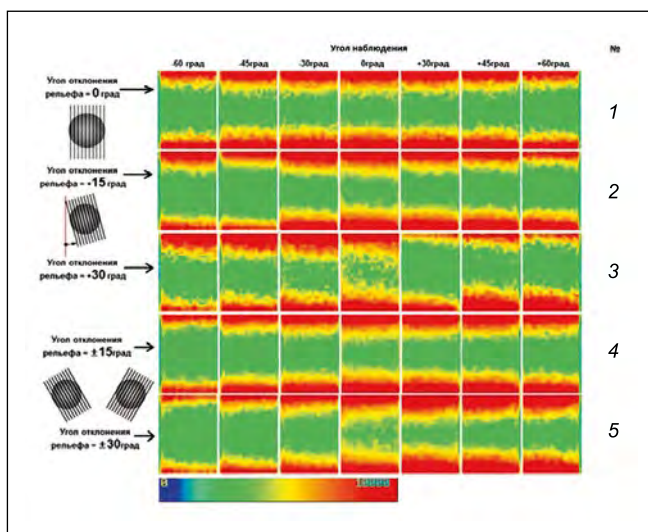




Рис. 7. Результаты моделирования распределения выходной яркости по поверхности светопроводящей пластины с учётом микрорельефа, представленные в псевдоцветах



поверхности элементов рассеивающей микроструктуры, точно измерить практически невозможно, достаточно точно подобрать параметры микрорельефа для дальнейшей оптимизации данного ОСУ позволяет ряд модельных экспериментов. Предполагая стабильность технологического процесса производства, полученные параметры микрорельефа можно использовать при моделировании и проектировании осветительных систем, светорассеивающие микроэлементы которых выполнены по аналогичной технологии. Авторами была успешно решена задача корректного моделирования светопроводящей системы с учётом особенностей технологии её изготовления и разработан подход к моделированию распределения выходной яркости и согласованию результатов с реальным распределением яркости. Использование описанного метода поможет улучшить качество проектирования светопроводящих систем в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-01-00363

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпонкина Ю. Энергосбережение в электроэнергетике // ЭР.– 2014.– № 3 (57). – С. 22–24.
2. Chang-Yi Li, Jui-Wen Pan High-efficiency backlight module with two guiding modes // Applied Optics.– 2014. – Vol. 53, Iss. 8. – P. 1503–1511.
3. Young Chul Kim, Tae-Sik Oh, Yong Min Lee Optimized pattern design of light-guide plate (LGP) // Optica Applicata.– 2011. – Vol. XLI, No. 4. – P. 863–872.

4. Жданов Д.Д., Жданов А.Д., Потёмкин И.С. Быстрый метод построения локально-эквидистантных распределений микрогеометрических объектов осветительных систем // Оптика и спектроскопия.– 2015.– № 2. – С. 329–336.

5. Chao-Heng Chien, Zhi-Peng Chen Design and fabrication of the concentric circle light guiding plate for LED-backlight module by MEMS technique // Microsyst Technol.– 2007.– 13:1529–1535. – DOI 10.1007/s00542-006-0365-y.

6. Chiung-Fang Huang, Yung-Kang Shen, Yi Lin, Jen-Chang Yang Luminance and brightness field distribution of light guiding plate for backlight panel (BLP) by micro molding // Polymers for advanced technologies.– 2008. – Vol. 19, Issue 12. – P. 1887–1893.

7. URL: <http://denso.com/>; <http://denso-europe.com/products/information-safety-systems/instrument-clusters/> (дата обращения: 20.05.2017).

8. United States Patent 13/562,888 July 31, 2012. Light emitting device and system providing white light with various color temperatures / US20120293093 A1, Nov 22, 2012/ Kim; Yu-Sik. Samsung Electronics Co., Ltd. (KR).

9. United States Patent 15/048,476 Feb.19. 2016. Electronic device / US2017/0097614 A1, Apr.6, 2017/ Pilgoo Kang, Dongseuck KO and other. LG Electronics Inc.

10. United States Patent 14/918,591 October 21, 2015. Light guide plate, backlight module and display device / US9,557,469 B2 January 31, 2017/ Chang, Chia-Yin and other. Radiant Opto-Electronics Corporation.

11. Davenport T.L.R., Cassarly W.J. Optimizing Density Patterns to Achieve Desired Light Extraction for Displays // Proc. SPIE.– 2007. – Vol. 6342. – P. 63420T.

12. United States Patent 14/632,377 February 26, 2015. Backlight module having a frame element, light bar, light guiding plate and light bar cover / US9,739,930 B2, August 22, 2017// Lo; Ching-I. INNOLUX CORPORATION.

13. Zhdanov D.D., Sokolov V.G., Potemin I.S., Voloboy A.G., Galaktionov V.A., Kirilov N. Modeling and Computer Design of Liquid Crystal Display Backlight with Light Polarization Film // Optical Review.– 2014. – Vol. 21, No. 5. – P. 642–650.

14. Cheng-Huan Yang, Sen-Yeu Yang A high-brightness light guide plate with high precise double-sided microstructures fabricated using the fixed boundary hot embossing technique // Journal of Micromechanics and Microengineering.– 2013. – Vol. 23. – P. 035033.

15. Cheng-Hsien Wu and Chien-Hung Lu Fabrication of an LCD light guide plate using closed-die hot embossing // Journal of Micromechanics and Microengineering.– 2008. – Vol. 18. – P. 035006.

16. Jen-Chin Yang, Chung-Ching Huang Using UV roll-to-plate imprint lithography to fabricate light guide plates with microdot patterns // Micro & Nano Letters.– 2012. – Vol. 7, Issue 3. – P. 244–247.

17. Peiyun Yi, Hao Wu, Chengpeng Zhang, Linfa Peng, Xinmin Lai Roll-to-roll UV imprinting lithography for micro/nanostructures // Journal of Vacuum Science & Technology B.– 2015. – Vol. 33, No. 6. – P. 060801.

18. Tun-Chien Teng, Ming-Feng Kuo Optical characteristic of the light guide plate with microstructures engraved by laser // Proc. of SPIE.– 2012. – Vol. 8485.

19. Bogdanov N.N., Zhdanov A.D., Zhdanov D.D., Potemin I.S. Design of Ergonomic Illumination Systems for Cultural, Medical and Educational Facilities / EVA 2017 Saint Petersburg: Electronic Imaging and the Visual Arts: international conference, St. Petersburg, June 22–23, 2017: conference proceedings. – St. Petersburg: ITMO univ., 2017. – P. 106–111.

20. Luo Xichun, Chenga Kai, Webba Dave, Wardle Frank Design of ultraprecision machine tools with applications to manufacture of miniature and micro components // Journal of Materials Processing Technology.– 2005. – Vol. 167. – P. 515–528.

21. Tun-Chien Teng, Ming-Feng Kuo Highly precise optical model for simulating light guide plate using LED light source // Optics Express.– 2010. – Vol. 18, Issue 21. – P. 22208.

22. Lumiccept – Integra Inc. URL: <http://www.integra.jp/en/products/lumiccept> (дата обращения: 25.05.2017).

23. ASAP. URL: <http://www.breault.com/software/software-overview.php> (дата обращения: 20.05.2017).

24. TracePro. URL: <https://www.lambdare.com/tracepro/> (дата обращения: 25.05.2017).

25. LightTools. URL: [http://www.optical-res.com/lt/ltprodds\\_f.html](http://www.optical-res.com/lt/ltprodds_f.html) (дата обращения: 19.05.2017).

26. SPEOS. URL: <https://www.optis-world.com/product-offering-light-simulation-virtual-reality-software/SPEOS> (дата обращения: 21.05.2017).

27. Sokolov V.G., Zhdanov D.D., Potemin I.S., Garbul A.A., Voloboy A.G., Galaktionov V.A., Kirilov N. Reconstruction of scattering properties of rough air-dielectric boundary // *Optical Review*. – 2016. – Vol. 23, Issue 5. – P. 834–841. DOI: 10.1007/s10043–016–0250–6.



**Богданов Николай Николаевич**, инженер. Старший инженер ОАО «Интер РАО Светодиодные Системы». Аспирант кафедры «Технология визуализации» Университета ИТМО. Об-

ласть научных интересов: проектирование освещения



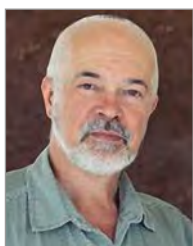
**Жданов Андрей Дмитриевич**, инженер. Младший научный сотрудник ООО «Научно-технологический вычислительный центр ИПМ». Аспирант кафедры «Технология визуализации»

Университета ИТМО. Область научных интересов: компьютерная графика, виртуальное прототипирование



**Жданов Дмитрий Дмитриевич**, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1984 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Заведующий кафедрой «Технология

визуализации» Университета ИТМО. Область научных интересов: прикладная оптика, компьютерная графика, светотехника



**Потёмин Игорь Станиславович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1984 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Старший научный сотрудник ООО «Научно-тех-

нологический вычислительный центр ИПМ» и доцент кафедры «Технология визуализации» Университета ИТМО. Область научных интересов: прикладная оптика, компьютерная графика, светотехника

## Рынок облучения светодиодами в растениеводстве и компания Amazon

Рынок облучения (освещения) светодиодами в растениеводстве (ОСДР) в 2017 г. достиг уровня около \$3,8 млрд и в основном представлен тепличным сегментом. Однако компании *Yole Développement* и *PISEO*, входящие в ГК *Yole*, считают, что в будущем возможно преобладание новых способов выращивания растений. Согласно последнему отчёту компании *Yole* по ОСДР, в средне- и долгосрочной перспективе теплицы не удержат лидерство, а развивающиеся способы, включая выращивание растений в городских условиях приведут в 2018–2023 гг. к среднегодовому темпу роста рынка ОСДР в 16,4 % в год.

Поэтому не удивляет появление стартового проекта («*Plenty*») по созданию в КНР 300 установок вертикального выращивания растений, поддерживаемого гендиректором компании *Amazon* Д. Безосом и исполнительным директором компании *Alphabet* Э. Шмидтом и уже собравшего финансирование в размере более \$200 млн.

«Вертикальные установки для выращивания растений, особенно в городах, – это, возможно, наиболее разумное решение проблемы производства свежих пищевых продуктов и овощей» – говорит П. Баули (*Pierrick Boulay*), аналитик ГК *Yole*. – Население Земли

непрерывно растёт, и к 2050 г. почти 80 % его будут жить в городах и мегаполисах. Поэтому вертикальные установки выращивания растений, несомненно, окажутся частью нашего будущего».

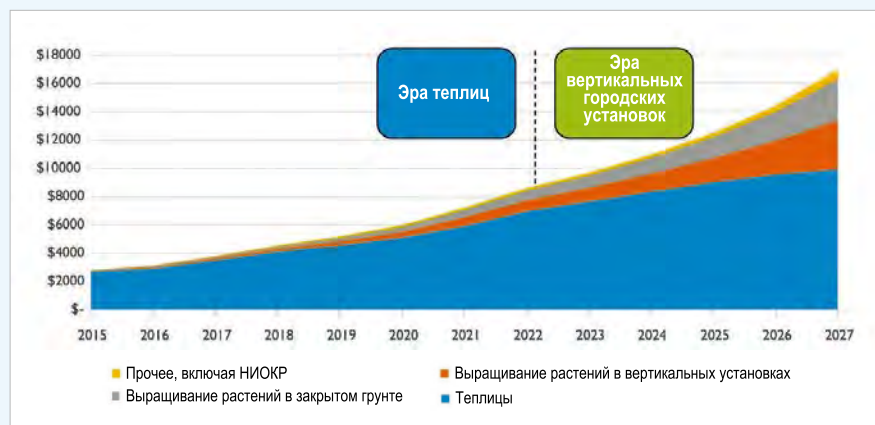
Выращивание растений в условиях закрытого грунта будет развиваться высокими темпами в урбанизированных районах Азии, особенно в КНР, так как этот регион сталкивается с существенным загрязнением воды и почвы. И проект «*Plenty*» – только один пример решения этой проблемы.

Приход на этот рынок *Amazon* и *Alphabet* должны учесть и другие компании. По мнению *Yole* и *PISEO*, можно ожидать, что, благодаря резкому расширению области растениеводства защищённого грунта и вертикальных установок выращивания растений, рынок ОСДР к 2027 г. достигнет уровня \$17 млрд.

Новое направление деятельности компании *Amazon* подтверждает роль вертикальных установок выращивания растений в решении проблем роста населения земного шара и пищевых ресурсов. В то же время это показывает разносторонность подхода такого гиганта как *Amazon* к внедрению во всю цепочку производства и поставки продуктов питания.

compoundsemiconductor.net

19.02.2018





# Сравнение двух методов реконструкции спектрального распределения коэффициента отражения<sup>1</sup>

Л. ЧЖАН<sup>1</sup>, Б. ЛИ<sup>1,3</sup>, Х. ЧЖАН<sup>2</sup>, И. КАН<sup>1</sup>, В. ЧЖАНЬ<sup>1</sup>, В. И<sup>1</sup>, Ч. ЧЭНЬ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Колледж связи и дизайна Шанхайского научно-технического университета, Шанхай, Китай

<sup>2</sup> Шанхайский исследовательский институт радиотехнического оборудования, Шанхай, Китай

<sup>3</sup> E-mail: 443956507@qq.com

## Аннотация

Спектральные коэффициенты отражения играют важную роль при цветовом отображении объекта. Есть много методов определения спектрального распределения коэффициента отражения (СРКО), два из которых, основанные на динамичном отображении спектра (ДОС) (*agile spectrum imaging*) и на жидкокристаллической модуляции (ЖКМ), сравниваются в данной статье. Для оценки этих методов используются цветовое различие МКО 1931 г., среднеквадратическая погрешность и показатель качества подгонки спектрального распределения (*Spectral Goodness of Fit Coefficient*). Результаты сравнения показали, что метод, основанный на ДОС, лучше метода, основанного на ЖКМ, в части как максимального, среднего и среднеквадратического отклонения цветового различия, так и среднеквадратической погрешности. Более того, в случае метода, основанного на ДОС, средний показатель качества подгонки спектрального распределения равен 0,9967, что на 1,4 % выше, чем в случае метода, основанного на ЖКМ, и достигает эталонного уровня реконструкции спектра. Сравнение этих двух методов будет полезным для дальнейшего исследования реконструкции СРКО и получения многоспектральных изображений при помощи однопиксельных приёмников.

**Ключевые слова:** реконструкция спектрального распределения коэффициента отражения, динамичное отображение спектра, синусоидальная модуляция, жидкокристаллическая модуляция.

## 1. Введение

Цвет объекта зависит, главным образом, от трёх факторов: источни-

ка света, спектрального распределения коэффициента отражения (СРКО) [1] и наблюдателя. Объекты, имеющие разные СРКО, могут иметь один и тот же цвет – это явление называют метамеризмом. Изображения, имеющие одинаковый цвет и разные спектры отражения, в разных условиях могут иметь цветовые различия. СРКО имеет важное значение для точного описания цветовых характеристик объекта. И реконструкция СРКО объектов позволит избежать метамеризма и точно воспроизвести цвет. В настоящее время имеется много методов реконструкции СРКО. Светофильтры [2–3] и фотокамера используются для получения сигнала, который позволяет реконструировать СРКО, но эта система является слишком сложной и дорогостоящей. В [4] модулированное разноспектральное излучение СД источника света используется для облучения клише для цветной краски, что позволяет реконструировать СРКО. Однако модулирование источника света и получение разноспектрального источника света связаны с большими трудностями. Поэтому в последние годы многие исследователи занимались поиском иных способов определения СРКО. В [5] был исследован метод реконструкции СРКО при помощи жидкокристаллической модуляции (ЖКМ). Совместив жидкокристаллический модулятор, однопиксельный приёмник и алгоритм сжатого восприятия, авторы добились высокой точности реконструкции СРКО. В [6] исследовался метод реконструкции СРКО, основанный на модуляции источника света и использовании однопиксельного приёмника и разреженных априорных характеристик (*sparse prior properties*), что привело к упрощению измерительного прибора и уменьшило затраты. В [7] исследовался метод определения СРКО, основанный на использовании динамичного отображения спектра (ДОС) (*agile spectrum*

*imaging*) для получения многоспектрального изображения, преобразуемого при помощи алгоритма корреляции изображения, что обеспечивало реконструкцию СРКО имеющего большой размер изображения.

Все методы определения СРКО имеют свои достоинства и недостатки. Поэтому необходимо выбрать такой метод, который обеспечивал бы точную реконструкцию СРКО. Однако несмотря на разнообразие методов исследования этих методов до сих пор проведено не было. Получение многоспектральных изображений и реконструкция СРКО при помощи однопиксельного приёмника может уменьшить требования, предъявляемые к обладающим высокими разрешением и чувствительностью матричным приёмникам, что позволит также уменьшить стоимость установки и увеличить отношение сигнала к шуму и имеет большие перспективы применения. Так что в этой работе многоспектральные изображения, полученные методами, основанными на ДОС и на ЖКМ, регистрируются однопиксельными приёмниками. Для оценки этих методов реконструкции СРКО используются цветовое различие, среднеквадратическая погрешность и показатель качества подгонки спектрального распределения (*Spectral Goodness of Fit Coefficient*). В статье проведено сравнение точности и надёжности осуществляемой при помощи этих двух методов реконструкции СРКО, что будет полезно при проведении дальнейших исследований получения многоспектральных изображений при помощи однопиксельных приёмников.

## 2. Реконструкция СРКО, основанная на динамичном отображении спектра

Установка для ДОС применяется для модуляции излучения источника света. Затем это модулированное излучение используется для освещения клише для цветной краски, и СРКО может быть реконструировано на основе отражённого сигнала, принимаемого однопиксельным приёмником. На рис. 1 приведена простая схема экспериментальной установки, в которой реализован метод ДОС. Излучение источника света проходит через решётку и модуляционную плёнку

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

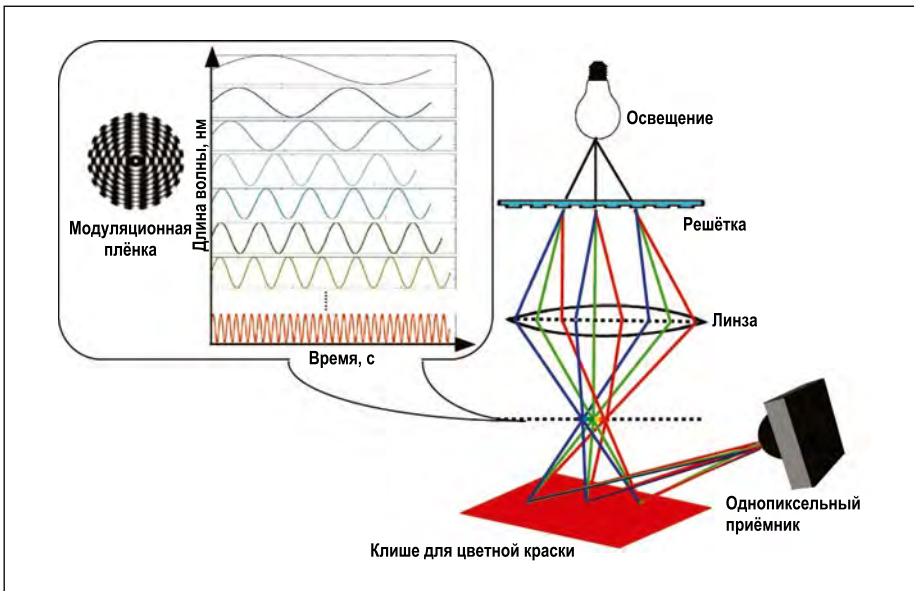


Рис. 1. Схематическое представление метода, основанного на ДОС

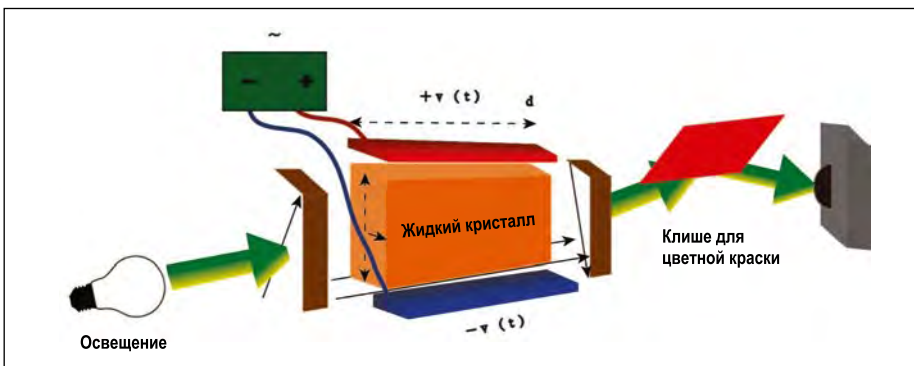


Рис. 2. Схематическое представление метода, основанного на ЖКМ

градиентного типа, а затем попадает на клише для цветной краски. Для регистрации отражённого от клише сигнала используется однопиксельный приёмник. Установка для ДОС состоит из дифракционной решётки и модулирующего вращающегося диска градиентного типа. Вначале излучение источника света проходит через решётку, разделяясь при этом по длинам волн. Будучи сведено при помощи линзы, оно формирует «радужную плоскость» на модуляционной плёнке градиентного типа. Короче говоря, всё излучение, лежащее вблизи определённой длины волны, собирается воедино. Затем при помощи вращающегося диска на участке между центром и краем модуляционной плёнки градиентного типа осуществляется модуляция излучения с разными длинами волн. При вращении коэффициент пропускания плёнки изменяется во времени по синусоидальному закону, в результате чего можно получить матрицу синусоидальной моду-

ляции с временем, отсчитываемым по горизонтали, и коэффициентом пропускания, отсчитываемым по вертикали. После попадания модулированного спектра источника света на клише для цветной краски, отражённый спектральный сигнал поступает на однопиксельный приёмник.

Матрица модуляции формируется решёткой и модулирующим вращающимся диском градиентного типа, которые разлагают спектр на разные длины волн и модулируют излучение источника света. Расчёт матрицы модуляции осуществляется в соответствии с формулой:

$$I_{\lambda_n t_m} = \sum_{n=1}^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi n}{T} t\right), \quad (1)$$

где  $I_{\lambda_n t_m}$  – синусоида, соответствующая модулированному излучению с длиной волны  $\lambda_n$ ,  $T$  – период,  $t$  – время,  $n$  – число, обозначающее  $n$ -ую синусои-

дальную функцию (в данной статье  $n = 1, 2, 3, \dots, 31$ ),  $m$  – частота выборки во времени. Матрица модуляции описывается формулой (2), в которой в каждой из строк время остаётся неизменным, а длина волны изменяется, тогда как в каждом из столбцов неизменной остаётся длина волны, а изменяется время. Матрицу  $L_{\lambda_n t_m}$  можно сравнить с транспонированной матрицей  $I$ .

$$L_{\lambda_n t_m} = \begin{bmatrix} I_{\lambda_1 t_1} & I_{\lambda_2 t_1} & \dots & I_{\lambda_n t_1} \\ I_{\lambda_1 t_2} & I_{\lambda_2 t_2} & \dots & I_{\lambda_n t_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_{\lambda_1 t_m} & I_{\lambda_2 t_m} & \dots & I_{\lambda_n t_m} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для реконструкции СРКО используется псевдообратный метод, а способ расчёта описывается формулой:

$$\hat{R} = pinv(S_1 L_{\lambda_n t_m}) \cdot D_1, \quad (3)$$

где  $\hat{R}$  – реконструированное СРКО,  $D_1$  – сигнал отклика, зарегистрированный однопиксельным приёмником,  $S_1$  – спектральное распределение энергии излучения источника света,  $L_{\lambda_n t_m}$  – матрица синусоидальной модуляции, которая была приведена выше, а  $pinv$  – обозначает псевдообратное преобразование матрицы.

### 3. Реконструкция СРКО, основанная на отображении спектра с использованием жидкокристаллической модуляции

Установка для реконструкции СРКО с использованием ЖКМ состоит, главным образом, из жидкокристаллического устройства для обеспечения запаздывания по фазе (*phase retarder*) и однопиксельного приёмника. В этой установке жидкокристаллическое устройство используется для модуляции входного спектрального сигнала. Кроме того, для получения выходного спектрального сигнала используется спектральный приёмник.

Схематическое изображение установки для реконструкции СРКО с использованием ЖКМ приведено на рис. 2. В этой установке входной спектральный сигнал (от источника света), модулированный при помощи жидкокристаллического устройства для обеспечения запаздывания



по фазе, используется для облучения клише для цветной краски, а отражённый сигнал попадает на однопиксельный приёмник. В жидкокристаллическом устройстве для обеспечения запаздывания по фазе имеется прозрачная ячейка, заполненная жидкокристаллическими молекулами, выступающая в роли регулируемой волновой пластинки. Если напряжение не приложено, то ориентация жидкокристаллических молекул определяется ориентирующим слоем. Приложенное к электродам напряжение вызывает двойное лучепреломление, а оптическое запаздывание пропорционально полученному двойному лучепреломлению [5]. Короче говоря, изменяя напряжение, приложенное к ориентирующему слою, может модулировать входной спектральный сигнал. Изменяя амплитуду и частоту напряжения, можно обеспечить разную модуляцию.

Изменение показателя преломления ориентирующего слоя  $\Delta n_i$  под воздействием приложенного напряжения описывается формулой:

$$\Delta n_i = n_i - n_0, \quad (4)$$

где  $n_0$  – показатель преломления обыкновенной волны, а  $n_i$  – показатель преломления необыкновенной волны. Если обозначить как  $d$  соответствующий заданной ячейке зазор, то разность фаз  $\eta_i$  для длины волны  $\lambda$  описывается формулой:

$$\eta_i = (2 \cdot \pi \cdot \Delta n_i \cdot d) / \lambda. \quad (5)$$

При реконструкции СРКО методом, основанным на ДОС, матрицу модуляции преобразуют посредством синусоидального разложения. Однако в случае метода, основанного на ЖКМ, матрица модуляции пропорциональна квадрату синусоидальной функции. Связь между матрицей модуляции  $P_i$  и сдвигом фаз  $\eta_i$  описывается формулой:

$$P_i(\lambda) \propto \sin^2(\eta_i(\lambda)/2). \quad (6)$$

$$P = \begin{bmatrix} \sin^2\left(\frac{1}{2}\eta_1(\lambda_1)\right) & \dots & \sin^2\left(\frac{1}{2}\eta_1(\lambda_N)\right) \\ \vdots & \sin^2\left(\frac{1}{2}\eta_i(\lambda_j)\right) & \vdots \\ \sin^2\left(\frac{1}{2}\eta_M(\lambda_1)\right) & \dots & \sin^2\left(\frac{1}{2}\eta_M(\lambda_N)\right) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

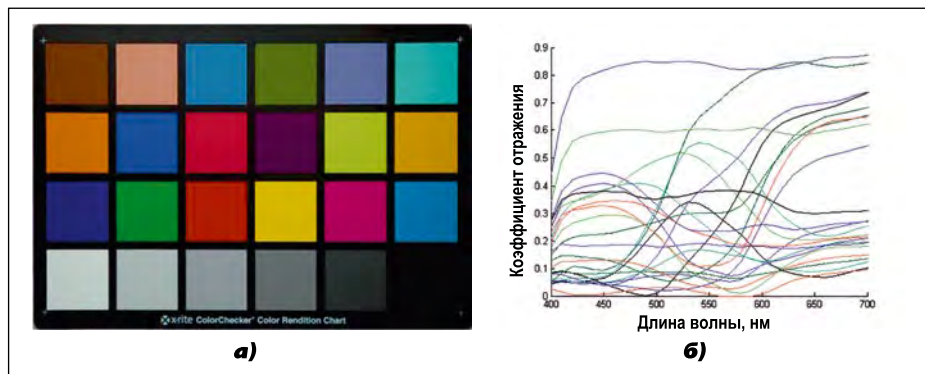


Рис. 3. Карта цветов RC24 (а) и соответствующие СРКО (б)

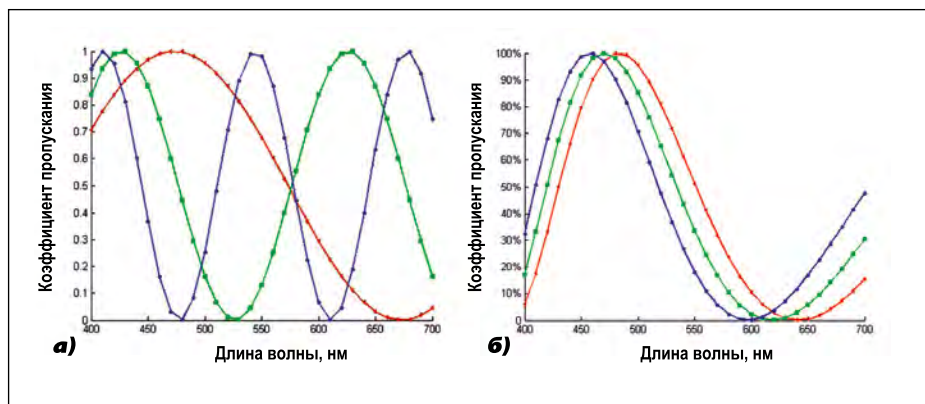


Рис. 4. Матрицы модуляции, соответствующие двум методам; а – метод, основанный на ДОС; б – метод, основанный на ЖКМ

В результате, матрица модуляции  $P$  может быть записана в виде (формула 7):

где  $M$  – количество частот модуляции, а  $N$  – размер выборки.

Реконструкция СРКО производится в соответствии с формулой:

$$\hat{R} = pinv(S_2 M) \cdot D_2, \quad (8)$$

где  $S_2$  – спектральное распределение энергии излучения источника света,  $M$  – матрица модуляции,  $D_2$  – величина, измеренная однопиксельным приёмником, а  $pinv$  – обозначает псевдообратное преобразование матрицы.

#### 4. Моделирующий эксперимент

Упомянутые выше два метода реконструкции СРКО были исследованы при помощи моделирующего экспери-

мента. Объект, выбранный для проведения эксперимента, представлял собой 24-цветовую карту цветов ColorChecker RC компании GretagMacbech (далее – RC24). Карта цветов RC24, которая содержит обычные для природы цвета, наиболее широко используется при проведении оптических исследований, представлена на рис. 3(а), а на рис. 3(б) приведены соответствующие СРКО.

Один и те же источник света, излучение которого было модулировано различными способами, приводит к разным результатам. В конце концов, различие между двумя способами модуляции находит своё отражение в матрицах модуляции. В случае метода, основанного на ДОС, матрица модуляции состоит из синусоидальных функций, тогда как в случае метода, основанного на ЖКМ, эта матрица состоит из квадратов синусоидальных функций. Кроме того, не совпадают и формы сигналов, генерируемых с использованием этих разных матриц модуляции (рис. 4, где разные цвета используются исключительно для различения выбранных типичных кривых). В описываемом эксперименте в качестве объекта использовался

видимый свет в диапазоне 400–700 нм с интервалом 10 нм.

На рис. 4(а) и 4(б) приведены спектральные функции модуляции, соответствующие реконструкции СРКО методами, основанными на ДОС и на ЖКМ. Как можно увидеть, периоды трёх представленных на рис. 4(а) кривых синусоидальной модуляции отличаются друг от друга. В то же время, периоды представленных на рис. 4(б) кривых синусоидальной модуляции практически совпадают.

На рис. 5 представлены некоторые результаты реконструкции СРКО применительно к карте цветов *RC24*, полученные с использованием рассматриваемых методов. Рис. 5(а), 5(б), 5(в) и 5(г) содержат, соответственно, результаты реконструкции СРКО четвёртого, восьмого, десятого и четырнадцатого цветов из карты цветов *RC24*. При этом чёрная кривая соответствует истинному СРКО, синяя кривая соответствует СРКО, полученному методом, основанным на ДОС, а красная кривая соответствует СРКО, полученному методом, основанным на ЖКМ.

Из рис. 5 следует, что:

- реконструкция, основанная на ДОС, приводит к гораздо лучшим результатам по сравнению с реконструкцией, основанной на ЖКМ;

- в интервале длин волн 450–700 нм СРКО, реконструированное с использованием ДОС, почти совпадает с истинным СРКО. Сравнение показывает, что результаты реконструкции, основанной на ЖКМ, оказались несколько хуже, демонстрируя большие отклонения от истинного СРКО;

- однако в интервале 400–450 нм результаты реконструкции оказались недостаточно хорошими. Даже в случае метода, основанного на ДОС, который обеспечивает отличную реконструкцию в интервале длин волн 450–700 нм, погрешность реконструкции концентрируется главным образом в интервале 400–450 нм.

## 5. Оценка полученных результатов

Что касается оценки полученных результатов, то в данной работе для сравнения вышеупомянутых методов реконструкции СРКО использовались цветовое различие, среднеквадратическая погрешность и показатель качества подгонки спектрального распре-

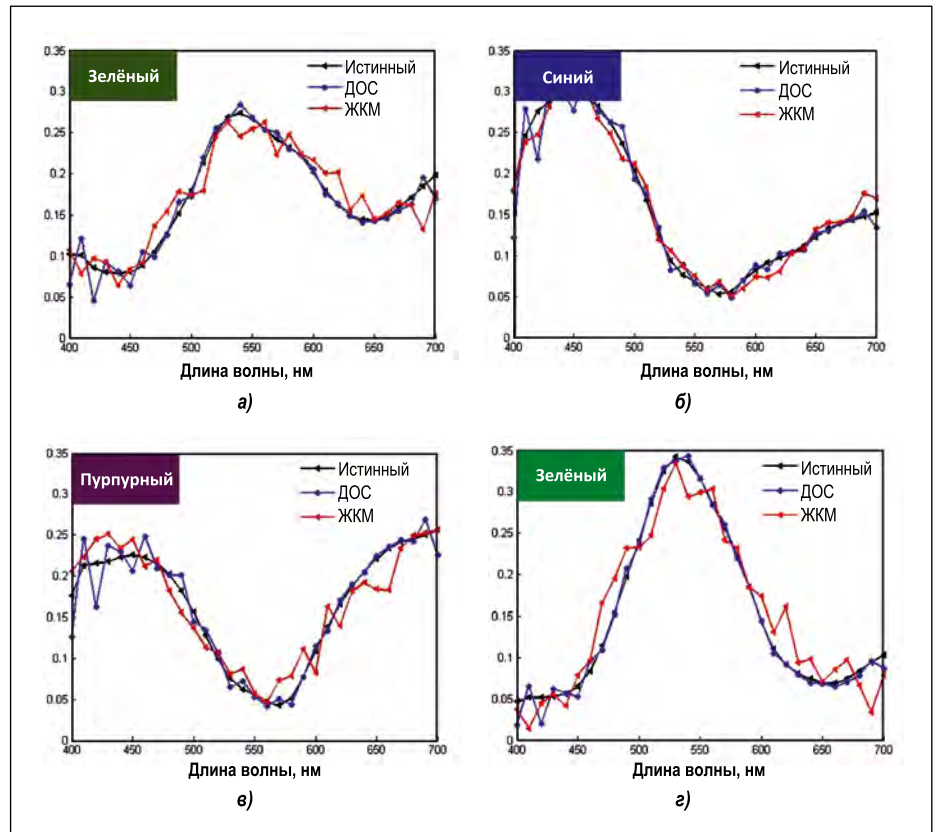


Рис. 5. Примеры реконструкции СРКО, соответствующих разным ячейкам карты цветов *RC24*: а – четвёртая ячейка карты цветов; б – восьмая ячейка карты цветов; в – десятая ячейка карты цветов; г – четырнадцатая ячейка карты цветов

деления. При этом цветовое различие оценивалось применительно к насыщенности цвета, тогда как среднеквадратическая погрешность и показатель качества подгонки спектрального распределения использовались применительно к спектру.

### 5.1. Сравнение цветовых различий

Хорошо известное и повсеместно применяемое цветовое различие [8–11] используется в данной работе для оценки вышеупомянутых методов реконструкции СРКО, причём расчёт цветового различия осуществляется по формуле, соответствующей цветовому пространству МКО 1976 г.:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}, \quad (9)$$

где  $\Delta E_{ab}^*$  – цветовое различие,  $\Delta L$  – разность яркостей,  $\Delta a > 0$  означает смещение в сторону красного цвета,  $\Delta a < 0$  – смещение в сторону зелёного цвета,  $\Delta b > 0$  – смещение в сторону жёлтого цвета, а  $\Delta b < 0$  – смещение в сторону синего цвета.

Результаты анализа цветовых различий представлены в табл. 1. Сравнение реконструированных СРКО  $\hat{R}$  и истинного СРКО  $\hat{R}$  проводилось применительно к освещению иллюминантами *D50* и *D65* [12] и стандартным источником *A*. Данные, приведённые в табл. 1, позволяют сделать ряд выводов:

- Независимо от источника света, будь то *D50*, *D65* или *A*, как среднее и максимальное, так и среднеквадратическое значения цветового различия оказались наименьшими при использовании ДОС.

- Цветовое различие при сравнении истинного СРКО и СРКО, полученного при использовании ЖКМ, оказалось несколько большим, чем при сравнении истинного СРКО и СРКО, полученного при использовании ДОС.

- Средние значения цветового различия, полученные применительно к обоим методам реконструкции СРКО, меньше, чем 3, что приемлемо.

Цветовые различия, рассчитанные для карты цветов *RC24* применительно к иллюминанту *D50* и обоим методам реконструкции СРКО, приведены



Цветовые различия при освещении разными источниками света

Метод	$\Delta E_{ab}^*$ под D50			$\Delta E_{ab}^*$ под D65			$\Delta E_{ab}^*$ под источником A		
	Макс.	Средн.	Среднеквадр.	Макс.	Средн.	Среднеквадр.	Макс.	Средн.	Среднеквадр.
ДОС	0,7953	0,5326	0,1810	0,8733	0,5991	0,2032	0,6551	0,4236	0,1299
ЖКМ	10,3731	2,9113	2,3140	14,0966	2,9062	2,8605	6,7783	2,8601	1,9055

на рис. 6, на котором синяя гистограмма соответствует цветовым различиям, полученным при осуществлённой с использованием ДОС реконструкции СРКО. Значения этих цветовых различий лежат в пределах от 0 до 0,9, т.е. значительно меньше, чем 3. Оранжевая линия соответствует цветовым различиям, полученным при осуществлённой с использованием ЖКМ реконструкции СРКО. Хотя в этом случае максимальное значение цветового различия равно 10, его минимальное значение оказалось меньше, чем 1, а из табл. 1 следует, что среднее значение цветового различия равно примерно 2,9.

## 5.2. Сравнение среднеквадратических погрешностей

Для количественного анализа влияния модуляции на реконструкцию СРКО использовалась среднеквадратическая погрешность [13–16]. Реконструированное СРКО близко к истинному, если среднеквадратическая погрешность близка к 0. Расчёт погрешности производится по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R - \hat{R})_i^2}{N}}, \quad (10)$$

где  $RMSE$  – среднеквадратическая погрешность,  $R$  – истинное СРКО ячейки карты цветов  $RC24$ ,  $\hat{R}$  – реконструированное тем или иным методом СРКО,  $N$  – размерность представления СРКО, которая в данном моделирующем эксперименте была равна  $N = 31$ .

Средние и максимальные значения среднеквадратической погрешности, а также её среднеквадратическое отклонение, приведены в табл. 2, из которой следует, что в случае ЖКМ значения всех перечисленных величин больше, чем в случае ДОС, и, следовательно, ЖКМ обеспечивает худшую реконструкцию СРКО.

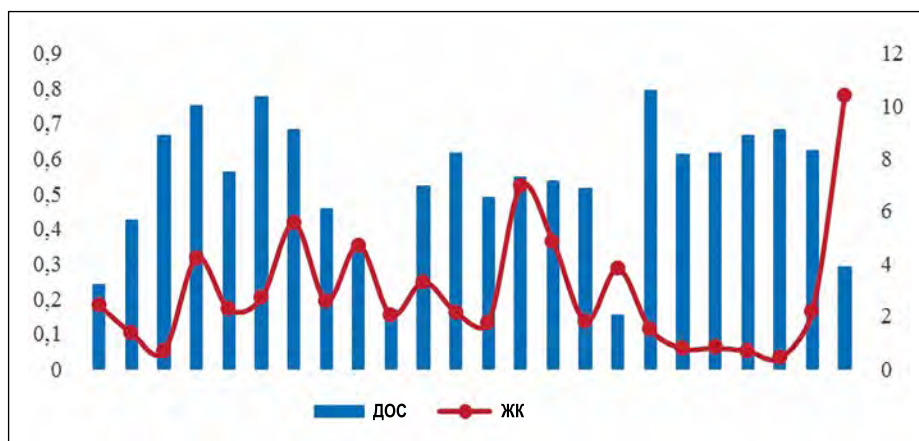


Рис. 6. Цветовые различия для двух методов

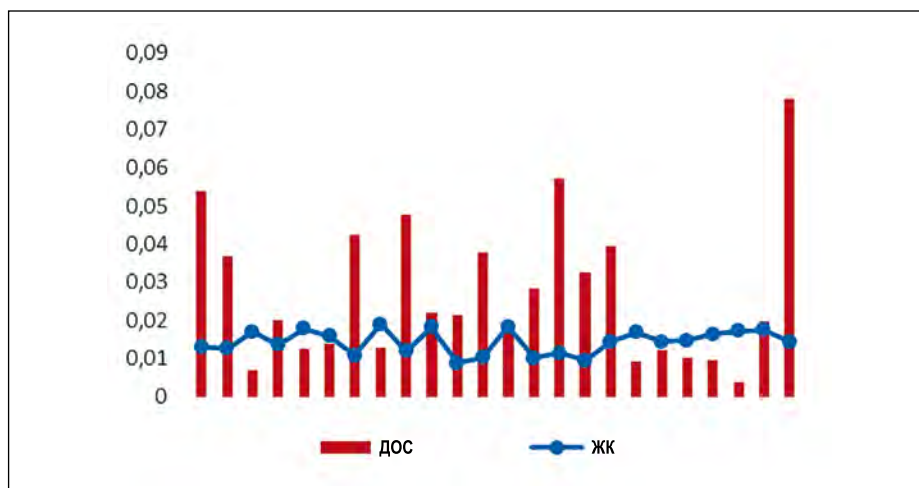


Рис. 7. Среднеквадратические погрешности для двух методов

Среднеквадратические погрешности, рассчитанные применительно к реконструкции СРКО ячеек карты цветов  $RC24$  двумя рассматриваемыми методами, изменяются в пределах от 0 до 0,09 (рис. 7, на котором оранжевая гистограмма соответствует методу, основанному на использовании ЖКМ, а синяя линия – методу, основанному на использовании ДОС). И хотя для некоторых ячеек карты цветов, таких как третья, пятая и с восемнадцатой по двадцать вторую, среднеквадратическая погрешность метода, основанного на использовании ДОС, превышает среднеквадратическую по-

грешность метода, основанного на использовании ЖКМ, в целом среднеквадратическая погрешность реконструкции СРКО ячеек карты цветов  $RC24$  с использованием ДОС является более равномерной и лежит в интервале от 0,01 до 0,02, который уже, чем в случае использования ЖКМ. Так что из табл. 2 и рис. 7 следует, что применительно к среднеквадратической погрешности метод реконструкции СРКО, основанный на ДОС, лучше метода, основанного на ЖКМ.

Причины различия между среднеквадратическими погрешностями, соответствующими двум рассматриваемым

Сравнение двух методов, исходя из среднеквадратической погрешности

Метод	Среднеквадратическая погрешность		
	Макс.	Средн.	Среднеквадр. отклонение
ДОС	0,0142	0,0190	0,0032
ЖКМ	0,0269	0,0782	0,0190

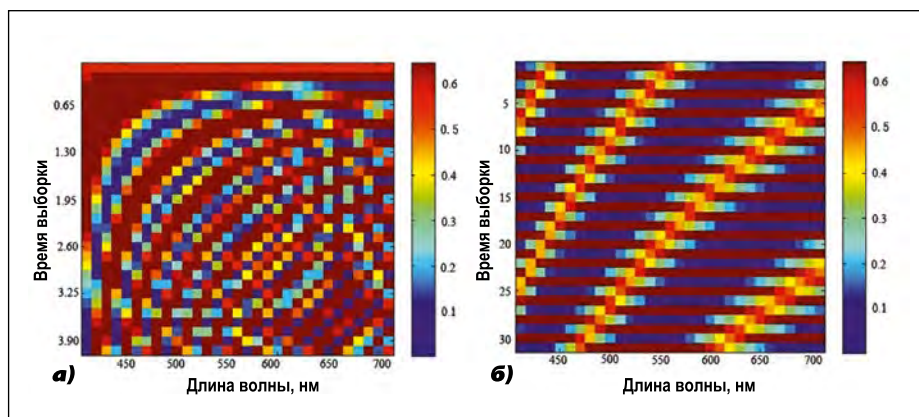


Рис. 8. Матрицы модуляции: а – метод, основанный на ДОС; б – метод, основанный на ЖКМ

мым методам, были проанализированы при помощи матриц модуляции. С точки зрения программного обеспечения, в случае ДОС матрица модуляции является матрицей полного ранга, а в случае ЖКМ – нет. Изображения этих двух матриц модуляции приведены на рис. 8а и 8б соответственно. Различные значения параметров отображены на рис. 8 различными цветами в соответствии с цветными шкалами, приведёнными с правой стороны каждого из рисунков. Различия между двумя матрицами, приведёнными на рис. 8, заметны сразу. Распределение цветов на рис. 8а имеет более сложный характер, что говорит о более случайном распределении образующих матрицу значений. В то же время, на рис. 8б значения в интервале от 0,4 до 0,5 распределены вокруг правого нижнего угла кругообразно, а значения, большие, чем 0,6 и меньшие, чем 0,1, распределены поперечно, причём распределение в целом является более однородным и равномерным, что говорит о менее случайном характере этого распределения.

Численные значения и соответствующие количества случаев появления этих значений в рассматриваемых матрицах модуляции приведены на рис. 9, где по горизонтали отсчитываются численные значения, а по вертикали – то, сколько раз это значение появляется в матрице. Как следует из рис. 9а, в случае метода, основанного на ДОС, количество появлений любых значений лежит в пределах примерно от 80 до 120. В случае метода, основанного на ЖКМ, значения 0,1 и 1 появляются часто, почти 200 раз, а разброс значений охватывает интервал от 40 до 200. При этом из рис. 8 и 9 следует, что в случае метода, основанного на ДОС, матрица модуляции является более неупорядоченной, благодаря чему соответствующая этому методу среднеквадратическая погрешность меньше, чем в случае метода, основанного на ЖКМ.

### 5.3. Сравнение показателей качества подгонки спектрального распределения

Показатель качества подгонки спектрального распределения ( $SGFC$ ) [17] также используется для оценки точности реконструкции СРКО. Чем ближе  $SGFC$  к 1, тем выше точность реконструкции, а при реконструкции СРКО

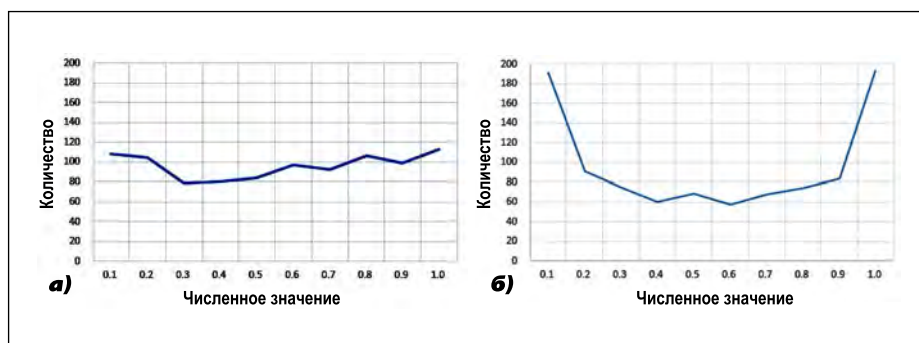


Рис. 9. Количественный состав двух матриц модуляции: а – метод, основанный на ДОС; б – метод, основанный на ЖКМ

значение  $SGFC$  может достигать 99 %, что считается приемлемым результатом. Если  $SGFC$  достигает 99,99 %, то реконструкцию можно считать великолепной. Формула для расчёта  $SGFC$  приведена ниже:

$$SGFC = \frac{\left| \sum_{\lambda} R_{\lambda} \hat{R}_{\lambda} \right|}{\sqrt{\sum_{\lambda} R_{\lambda}^2} \sqrt{\sum_{\lambda} \hat{R}_{\lambda}^2}}, \quad (11)$$

где  $R_{\lambda}$  и  $\hat{R}_{\lambda}$  – истинное и реконструированное СРКО соответственно, а символ  $\sum$  означает сумму всех численных значений.

Максимальные, минимальные и средние значения  $SGFC$ , рассчитан-

ные применительно к двум рассматриваемым методам реконструкции СРКО, приведены в табл. 3. Из таблицы следует, что в случае метода, основанного на ДОС, среднее и минимальное значения  $SGFC$  больше, чем полученные в случае метода, основанного на ЖКМ. Однако максимальное значение  $SGFC$  оказалось несколько большим в случае ЖКМ. Кроме того, в случае метода, основанного на ДОС, и максимальное, и минимальное, и среднее значения  $SGFC$  превышают 0,99, что удовлетворяет требованию к точности реконструкции. В то же время, в случае метода, основанного на ЖКМ, среднее значение  $SGFC$  составляет всего лишь примерно 0,98, что удовлетворяет требованию к точности реконструкции, тогда как ми-



Сравнение двух методов, исходя из показателя качества спектральной подгонки

Метод	Показатель качества спектральной подгонки		
	Средн.	Макс.	Мин.
ДОС	0,9967	0,9988	0,9944
ЖКМ	0,9834	0,9998	0,9053

нимальное значение *SGFC* примерно равно 0,9, что говорит о недостаточной хорошей точности этого метода. Так что применительно к *SGFC*, основанный на ДОС метод реконструкции СРКО оказался лучше метода, основанного на ЖКМ.

## 6. Заключение

Реконструкция СРКО в настоящее время широко используется во многих областях, и выбор хорошего способа реконструкции имеет очень большое значение. В данной статье проведено сравнение и анализ методов реконструкции СРКО, основанных на ДОС и ЖКМ. В основу сравнения положены три показателя, а именно, цветовое различие, среднеквадратическая погрешность и показатель качества подгонки спектрального распределения. С точки зрения науки о цветах и красках, цветовое различие является хорошим способом наглядной демонстрации достоинств и недостатков методов реконструкции СРКО, а два других показателя используются для спектральной оценки этих методов. При этом максимальное, среднее и среднеквадратическое отклонения цветового различия меньше в случае метода, основанного на ДОС. Что касается среднеквадратической погрешности, то её максимальное значение и среднеквадратическое отклонение также оказались наименьшими в случае метода, основанного на ДОС. Если говорить о качестве подгонки спектрального распределения, то результат оказывается тем же самым. Таким образом, основанный на ДОС метод реконструкции СРКО лучше метода, основанного на ЖКМ, и может быть рекомендован для широкого применения.

Эта работа финансировалась Китайским национальным фондом исследований в области естественных наук и Шанхайским фондом исследований в области естественных наук

(грант № 61405115), Инновационным проектом шанхайской муниципальной комиссии по образованию (грант № 14YZ099) и Китайской национальной программой фундаментальных научных исследований (грант № 2015CB352004).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barakzahi, M., Amirshahi, S.H., Peyvandi, S., et al. Reconstruction of total radiance spectra of fluorescent samples by means of nonlinear principal component analysis // Journal of the Optical Society of America A. Optics Image Science & Vision. – 2013. – Vol. 30, No. 9. – P. 1862–1870.
2. Kim, B.G., Werner, J.S., Siminovitch, M., et al. Spectral Reflectivity Recovery from Tristimulus Values Using 3D Extrapolation with 3D Interpolation // Journal of the Optical Society of Korea. – 2014. – Vol. 18, No. 5. – P. 507–516.
3. Funamizu, H., Shimoma, S., Yuasa, T., et al. Effects of spatiotemporal averaging processes on the estimation of spectral reflectance in color digital holography using speckle illuminations // Applied Optics. – 2014. – Vol. 53, No. 30. – P. 7072–7080.
4. Lin, M., C., Tien, C.H. Spectral image reconstruction by a tunable LED illumination // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8870, No. 5. – P. 441–443.
5. August, Y., Stern, A. Compressive sensing spectrometry based on liquid crystal devices // Optics Letter. – 2013. – Vol. 38, No. 23. – P. 4996–4999.
6. Zhang, L., Liang, D., Li, B., et al. Study on the key technology of spectral reflectivity reconstruction based on sparse prior by a single-pixel detector // Photonics Research. – 2016. – Vol. 4, No. 3.
7. Bian, L., Suo, J., Situ, G., et al. Multispectral imaging using a single bucket detector // Physics. – 2015. – No. 6.
8. Zhang, L., Liang, D., Pan, Z., et al. Study on the key technology of reconstruction spectral reflectance based on the algorithm of compressive sensing // Optical & Quantum Electronics. – 2014. – Vol. 47, No. 7. – P. 1–14.
9. Amiri, M.M., Amirshahi, S.H. A hybrid of weighted regression and linear models for extraction of reflectance spectra from CIE XYZ tristimulus values // Optical Review. – 2014. – Vol. 21, No. 6. – P. 818–825.

10. Zhang, L., Liang, D., Li, B., et al. The study of key technology on spectral reflectance reconstruction based on the algorithm of adaptive compressive sensing // Laser Physics. – 2016. – Vol. 26, No. 4. – P. 045201.

11. Shrestha, R., Hardeberg, J.Y., Mansouri, A. One-shot multispectral color imaging with a stereo camera // Digital Photography VII. – 2011. – No. 7876. – P. 298–306.

12. Yuan, W.G., Zhen, L., Qing, Z.J. Spectral color reproduction from CIE tristimulus values using a node address array selection technique // Image Processing and Pattern Recognition. – 2015. – Vol. 8, No. 9. – P. 141–150.

13. Chen, S., Ong, Y.H., Lin, X., et al. Optimization of advanced Wiener estimation methods for Raman reconstruction from narrow-band measurements in the presence of fluorescence background // Biomedical Optics Express. – 2015. – Vol. 6, No. 7. – P. 2633–48.

14. Agahian, F., Funt, B. Outlier modeling for spectral data reduction // Journal of the Optical Society of America A. Optics Image Science & Vision. – 2014. – Vol. 31, No. 7. – P. 1445–1452.

15. Yoo, J. – H., Kyung, W. – J., Ha, H. – G. Estimation of reflectance based on properties of selective spectrum with adaptive Wiener estimation // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8652, No. 2. – P. 86520–86527.

16. Chen, S., Lin, X., Yuen, C., et al. Recovery of Raman spectra with low signal-to-noise ratio using Wiener estimation // Optics Express. – 2014. – Vol. 22, No. 10. – P. 12102–12114.

17. Gorji, K.S. Representing Spectral Data Using Lab PQR Color Space in Comparison with PCA Method // Prog. Color Colorants Coat. – 2011. – No. 4. – P. 95–106.



**Чжан Лэйхун (Zhang Leihong),**

Др. Доцент  
Шанхайского  
научно-  
технического  
университета.  
Область научных  
интересов:  
алгоритмы

восстановления спектральных  
распределений коэффициентов отражения.



**Ли Бэй (Li Bei),**

аспирант  
Шанхайского  
научно-  
технического  
университета.  
Область научных  
интересов:  
восстановление  
спектральных

распределений коэффициентов отражения  
и однопиксельные приёмники.



**Чжан Хаоцзюнь  
Zhang Haojun,**  
Dr. Старший инженер  
Шанхайского  
исследовательского  
института  
радиотехнического  
оборудования.  
Область научных

интересов: активные лазерные системы  
визуализации и комплексные системы  
обнаружения.



**Кан И (Kang Yi).**  
Окончил Цюйфуский  
государственный  
педагогический  
университет.  
Обучается  
в Шанхайском  
научно-  
техническом  
университете.

Область научных интересов: формирование  
фантомных изображений и сжатое  
восприятие.



**Чжань Вэньцзе  
(Zhan Wenjie),**  
окончил  
Университет  
Чичжоу. Обучается  
в Шанхайском  
научно-  
техническом  
университете.  
Область научных

интересов: формирование фантомных  
изображений и восстановление  
спектральных распределений  
коэффициентов отражения.



**И Вэньцзюань  
(Yi Wenjuan),**  
бакалавр.  
Работает  
в Шанхайском  
научно-  
техническом  
университете.  
Область научных  
интересов:

алгоритмы восстановления спектральных  
распределений коэффициентов отражения.



**Чэнь Чживэнь  
(Chen Zhiwen),**  
бакалавр.  
Работает  
в Шанхайском  
научно-  
техническом  
университете.  
Область научных  
интересов:

полиграфия и восстановление спектральных  
распределений коэффициентов отражения.

## В 2017 г. Philips Lighting сократила выбросы CO<sub>2</sub> на 20 %

Компания *Philips Lighting* в 2017 г. сократила объём своих выбросов углекислоты на 20 % (до 325 кт) и увеличила долю потребления возобновляемой электроэнергии с 67 до 80 %. Это отражает успехи компании в реализации собственной экологической программы «Ярче жизнь – лучше мир», запущенной в 2016 г.

Благодаря этой программе, компания надеется к 2020 г. добиться углеродной нейтральности, потребления только возобновляемой электроэнергии и получения 80 % своей прибыли от реализации экологически безопасных изделий, систем и услуг, что на 3 % выше, чем в 2017 г.

Кроме того, по сравнению с 2016 г. *Philips Lighting* сократила на 26 % количество вывозимых на свалки отходов и продолжает стремиться к экологичности выпускаемой продукции, направляя 83 % своих затрат на НИОКР на работы экологической направленности. Результатом этого явилась серия светодиодных ламп (СДЛ) «TrueForce LED», которая способствует переходу от НЛВД к СД источникам света (до 75 % более энергоэффективным).

С момента своего присоединения к программе «Global Lighting Challenge» («Общепланетарные проблемы освещения»), в 2015 г., и до конца 2017 г. *Philips Lighting* реализовала 1,2 млрд СДЛ (с соответствующими светильниками), предотвратив этим выброс в атмосферу примерно 30 Мт CO<sub>2</sub>. И это лишь часть обязательств компании по данной программе – реализовать к 2020 г. 2 млрд СДЛ.

В 2017 г. за данные усилия *Philips Lighting* названа Лидером сектора электроэлементов и оборудования по версии «Индекса устойчивого развития Доу-Джонса».



ledinside.com  
27.02.2018

## Bilton изготовила полностью герметизированные СД модули

Новые СД модули серии «AIR» компании *Bilton* представляют собой чрезвычайно гибкий силиконовый шланг и обладают степенью защиты IP67, высоким качеством света, эффективным теплоотводом и стойкостью к внешним воздействиям (к УФ излучению, соли, хлору и др.).

### Основные особенности модулей:

- Степень защиты: IP67.
- Гибкость.
- Светят вверх или вбок.
- Длина: до 5 м.
- Удельный световой поток: до 1000 лм/м.
- Напряжение питания: 24 В пост. тока.
- Общий индекс цветопередачи: > 80.
- Коррелированная цветовая температура: 2700, 3200 или 4000 К.



Этим полностью герметизированным ленточным источником света можно придавать любую форму. Имеются две подсерии: «AIR SIDE» (с излучением вбок) и «AIR TOP» (с излучением вверх). Обе модели имеют три варианта цвета излучения. Модули «AIR» можно изгибать во всех направлениях, что позволяет широко их использовать как во внутреннем, так в наружном освещении.

led-professional.com  
23.02.2018

## Новые технологии «GALAD» и облик прошлых столетий

Продукция МСК «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» (*BL Group*) была установлена на проспекте 25-Октября в г. Гатчина Ленинградской области. Работа выполнена электромонтажной компанией «РосЭнергоСнаб».

Главная артерия Гатчины приобрела новый изысканный облик, благодаря осветительным комплексам, специально были разработанным проектировщиками этой компании. Осветительный комплекс «Гатчина-2» – это чугунная тумба, двухрожковый кронштейн, два светильника со светодиодами «Факел LED» бренда «GALAD» и стальная опора бренда «OPORA ENGINEERING», которые в сумме подчеркивают неповторимый архитектурный ансамбль. Оборудование было изготовлено на производственных мощностях МСК «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП».

Реконструированный проспект приобрёл абсолютно новые краски и даёт ощущение присутствия в вечерней доброй сказке.



bl-g.ru  
27.02.2018



# Естественное освещение подземных пространств

А.К. СОЛОВЬЁВ

НИУ «МГСУ», Москва  
E-mail: agpz@mgsu.ru

## Аннотация

Подземные пространства в центрах городов обладают большой привлекательностью для инвесторов, но предъявляют особые требования к своей внутренней среде, которые выполняются с помощью систем естественного освещения. В статье даются примеры естественного освещения подземных пространств и отмечается, что обычные системы верхнего естественного освещения не всегда применимы, создавая большие теплопотери, тогда как полые трубчатые световоды позволяют избежать недостатков обычных систем естественного освещения. Приводится методика расчёта КЕО от полых трубчатых световодов и анализируются результаты расчёта КЕО под световодами разного диаметра на разной глубине под землёй.

**Ключевые слова:** города, подземные пространства, естественное освещение, КЕО, полые трубчатые световоды.

## Введение

Подземные пространства приобретают всё большее значение в архитектуре городов, в центральных районах которых, как обычно, территории полностью застроены. Любые открытые площади становятся неоценимым градостроительным элементом, притягивающим внимание людей, позволяющим спокойно осматривать прилегающую застройку, пройтись пешком и погулять по центру. В то же время подземное пространство под такими площадями привлекательно для инвесторов, позволяя использовать его в качестве торговых и досуговых площадей, ресторанов, магазинов, предприятий обслуживания и т.п. Однако подземные городские пространства предъявляют к своей внутренней среде особые требования. Люди должны под землёй чувствовать себя комфортно и безопасно и по возможности не терять связи с внешней средой.

## Примеры подземных пространств

- Наиболее известный в России пример указанных подземных пространств – трёхуровневый подземный торговый комплекс «Охотный ряд» на Манежной площади в Москве, имеющий входные узлы в виде атриумов, освещаемых большими светопрозрачными куполами. Один из таких куполов имеет диаметр около 20 м (рис. 1) и освещает естественным светом (ЕС) центральный зал (имеющий три уровня подземного пространства), тогда как рестораны и кафе, находящиеся под балконами атриума, освещаются постоянно действующими ОУ искусственного света. Меняющиеся уровни естественного света создают в них естественную динамику освещения. Искусственным светом освещаются и все подземные магазины, примыкающие к центральному атриуму, а также коридоры, соединяющие входные узлы, но динамика освещения, свойственная естественному свету, там отсутствует.

Коридоры, по крайней мере, на первом подземном уровне, могли бы тоже освещаться ЕС – с помощью ленточных зенитных фонарей. Освещаться ЕС могли бы и магазины – с помощью полых трубчатых световодов (ПТС) [1–3]. Последние могли бы подавать ЕС и для освещения магазинов второго и третьего подземных уров-

ней, для чего, конечно, бы следовало реорганизовать наземную планировку Манежной площади (рис. 2), освободив место для зенитного фонаря и светоприёмных устройств ПТС, что, в принципе, возможно с учётом основного рекреационного назначения наземного пространства Манежной площади. Проведение ЕС в подземное пространство повысило бы чувство комфортности и безопасности людей в подземном пространстве. При этом монотонность и постоянный спектр искусственного света будут нарушены динамикой уровней и спектра ЕС, а посетители почувствуют минимальную связь с внешней средой, время дня и состояние погоды.

- Ещё один пример использования ЕС для освещения подземного пространства – пересадочный узел Флинтгольм в Копенгагене, объединяющий станции метро, кольцевой железной дороги и железной дороги, ведущей в Фредериксунд. Шесть платформ расположены под стеклянной крышей размером 180×60 м<sup>2</sup>. В результате все станции освещены ЕС. При этом две станции расположены на мостах, а станции на линиях, проходящих в поперечном направлении, – на нижнем мостовом уровне. Ещё ниже находится автовокзал [4].

На конструкции, расположенной выше стеклянной крыши, смонтированы все ОУ искусственного света. Поэтому их легко обслуживать, не мешая движению поездов. Для освещения тёпло-белым светом применены ГЛН с цветовой температурой 3000 К. Основное искусственное освещение производится светодиодной лентой длиной 2,5 км, освещающей в тёмное время суток и пасмурную погоду подземное пространство и стальные конструкции пересадочного узла.

Рис. 1. Купол центрального зала торгового комплекса «Охотный ряд»



Проект естественного и искусственного освещения этого крупного пересадочного узла и всех новых метро станций в Копенгагене создан известным проектным бюро *Bartenbach LichtLabor*. В новых станциях метро проектировщики попытались избежать сумеречных закоулков, превратив грязные и тёмные станции в светлые залы, частично освещаемые ЕС. Если раньше, подходя к тёмным входным трубам эскалаторов, пассажиры чувствовали напряжение, то теперь во входных зонах присутствует приятная атмосфера естественного света (рис. 3). При этом люди ощущают перемены погоды, чувствуют «прохладный» (холодно-белый) ЕС утром и более тёплый (нейтрально-белый) – вечером. Всё это обеспечило связь с внешней средой, повысило ощущение безопасности под землёй.

ЕС на станции обычно подаётся через зенитные фонари. Боковые стенки их шахт облицованы чистым алюминием и позволяют доставлять ЕС на глубину станций метро без больших потерь, подобно ПТС.

При этом движение солнца передаётся в помещение с помощью стеклянных призм, установленных в зенитных фонарях. Призмы разлагают солнечный свет на спектральные составляющие. Это создаёт на стенах картины, подобные радуге, которые перемещаются по поверхностям входных узлов и эскалаторов (рис. 4).

Однако при большом сечении шахт, характерном для зенитных фонарей, создать зеркальное отражение поверхностей шахт (подобно тому, как это имеет место в ПТС) – задача технически (запыление) и финансово очень сложная. Поэтому сравнивать эффективность этих устройств нельзя.

### Освещение подземных пространств посредством полых трубчатых световодов

Рассмотренные примеры показывают, что при неглубоком заложении подземных пространств города их возможно и целесообразно освещать с помощью разных систем подачи ЕС. Обычные, в виде зенитных фонарей и светопрозрачных покрытий, дают много света, но не свободны от недостатков. Во-первых, устройство зенитных фонарей и светопрозрачных покрытий требует использования больших площадей городских территорий,

Рис. 2. Наземная планировка Манежной площади



Рис. 3. Входная зона в метро, Копенгаген. (Фото П. Бартенбаха)



которые уже не могут использоваться как рекреационные зоны. А во-вторых, зенитные фонари и другие светопрозрачные конструкции создают в подземных пространствах города большие теплопотери зимой и теплопоступления летом, которые надо компенсировать путём значительных расходов энергии.

Использование ПТС сглаживает эти недостатки [1–3]. Площади, занимаемые приёмными элементами ПТС, значительно меньше. Теплопотери и теплопоступления через них также во много раз меньше, чем через зенитные фонари и светопрозрачные покрытия [5]. В то же время ПТС сохраняют такие преимущества естественного освещения, как естественный спектр света и его зависимость от времени дня и погоды.

Оценивать естественное освещение с помощью ПТС можно так же, как и от обычных светопроёмов, с помощью КЕО. При этом при оценке времени использования естественного освеще-

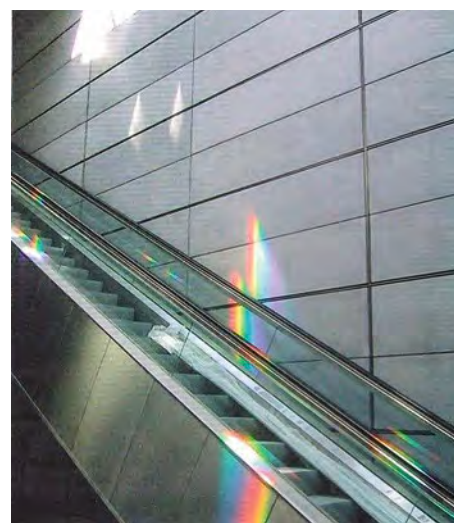


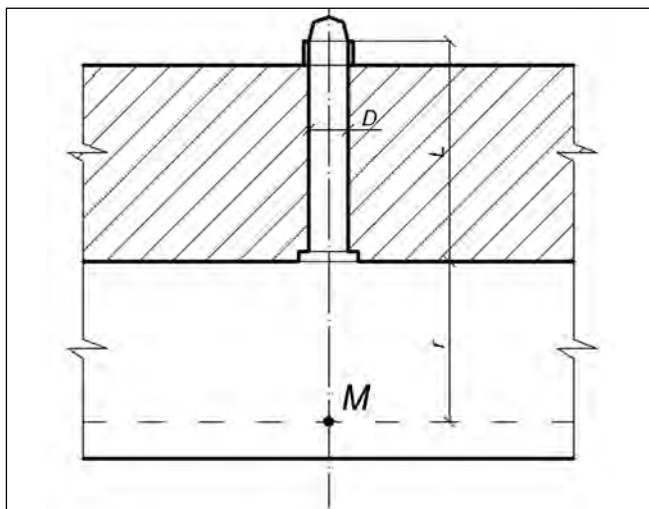
Рис. 4. Спектр солнечного света на стене помещения эскалатора метро. Копенгаген. (Фото П. Бартенбаха).

ния можно использовать не диффузную освещённость от неба, а суммарную от неба и солнца.

Общий КПД ПТС  $\eta$  определяется как [1]



Рис. 5. Схема к расчёту КЕО под ПТС в точке  $M$



ние купола при эксплуатации)<sup>3</sup>;  $\xi$  – эффективность трубы прямолинейного ПТС.

При этом  $\xi$  зависит от коэффициента отражения зеркального покрытия трубы ПТС  $\rho$ , отношения длины ПТС  $L$  к его диаметру  $D$ , т.е., по сути, от количества отражений световых лучей внутри трубы и от угла наклона падающих на купол ПТС лучей к его оси  $\theta^4$ .  $\xi$  может определяться по упрощённой формуле многократных отражений [1]

$$\xi = e^{L/D} \cdot \text{tg}\theta \cdot \ln\rho / [1 - (L/D) \cdot \text{tg}\theta \cdot \ln\rho]^{1/2}. \quad (1)$$

$\xi$  может также определяться по приведённой в [1, 2] таблице, составленной по формуле (1).

Световой поток, выходящий из рассеивателя, выражается как

$$\Phi_d = \eta \cdot \Phi_n,$$

где  $\Phi_n$  – световой поток, входящий в ПТС снаружи:

$$\Phi_n = [(180 - \theta) / 180] \cdot E_n \cdot A,$$

где  $(180 - \theta) / 180$  – входной коэффициент ПТС;  $A$  – площадь сечения трубы ПТС,  $A = \pi \cdot D^2 / 4$ ;  $E_n$  – горизонтальная освещённость под открытым небом. (Если требуется определить значение условного КЕО под ПТС, то берётся  $E_n = 100$  %.)

Условный КЕО под ПТС в точке  $M$  (рис. 5)  $\varepsilon_m$ , определяется как [2]

$$\varepsilon_m = L_d \cdot A / r^2, \quad (2)$$

где  $L_d$  – яркость рассеивателя,  $L_d = \Phi_d / (\pi \cdot A)$ ;  $r$  – расстояние между центром рассеивателя и расчётной точкой  $M$ , в нашем случае это высота рассеивателя над рабочей плоскостью согласно рис. 5,  $r = 4$  м).

Рис. 6. Зависимость КЕО под ПТС в точке  $M$  от диаметра трубы ПТС  $D$

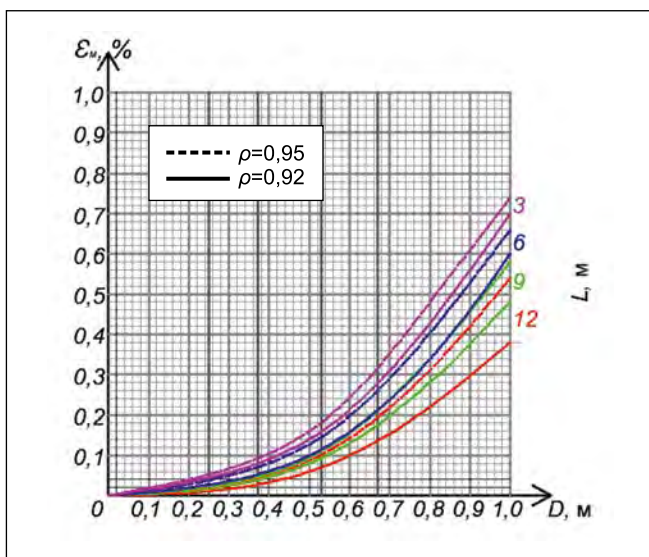
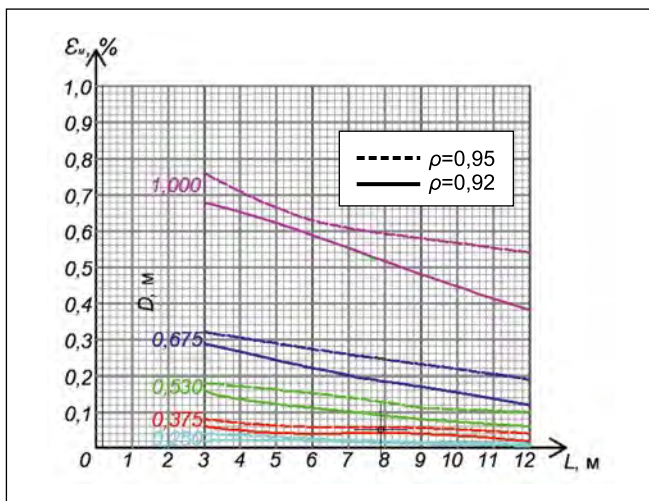


Рис. 7. Зависимость КЕО под ПТС в точке  $M$  от глубины подземного пространства



$$\eta = \tau_c \cdot \tau_d \cdot K_m \cdot \xi,$$

где  $\tau_d$  – коэффициент светопропускания рассеивателя (диффузора) ПТС<sup>1</sup>;

$\tau_c$  – коэффициент светопропускания наружного купола ПТС, его оправы и промежуточной линзы<sup>2</sup>;  $K_m$  – коэффициент запаса (учитывает загрязне-

<sup>1</sup> Например, у итальянского ПТС «SOLARSPOT»  $\tau_d = 0,8$ .

<sup>2</sup> У «SOLARSPOT»  $\tau_c = 0,92$ .

<sup>3</sup>  $K_m = 0,92$  [1].

<sup>4</sup>  $\theta$  наиболее просто определяется для прямой солнечной составляющей освещённости под открытым небом. При вертикальном положении оси ПТС  $\theta$  равен зенитному расстоянию солнца в данный момент времени. Т.е.  $\xi$  зависит от высоты солнца. Средняя  $\xi$  хорошо соответствует условиям пасмурного неба МКО, при которых  $\theta = 30^\circ$ . (Это значение предлагается использовать для расчёта.)

Результаты расчёта КЕО под полыми трубчатыми световодами «SOLARSPOT» ПТС разного диаметра. Помещения на разной глубине. Высота от рассеивателя до расчётной плоскости – 4 м. Коэффициент светопропускания купола и рассеивателя – по Дж. Бракале [1]

D	$\rho = 0,92$															
	L = 3				L = 6				L = 9				L = 12			
	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta_d$	$\varepsilon_m$
0,25	0,0625	12	0,45	0,31	0,025	24	0,24	0,16	0,013	36	0,15	0,1	0,008	48	0,06	0,003
0,375	0,1406	8	0,58	0,39	0,072	16	0,35	0,24	0,043	24	0,17	0,11	0,02	32	0,18	0,02
0,53	0,2809	5,66	0,68	0,46	0,168	11,32	0,46	0,31	0,113	16,98	0,33	0,22	0,08	22,64	0,25	0,06
0,675	0,4556	4,44	0,73	0,49	0,292	8,88	0,55	0,37	0,22	13,33	0,44	0,3	0,17	17,76	0,31	0,12
1,0	1,0	3	0,78	0,53	0,684	6	0,67	0,45	0,59	9	0,55	0,37	0,48	12	0,44	0,38

D	$\rho = 0,95$															
	L = 3				L = 6				L = 9				L = 12			
	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta$	$\varepsilon_m$	$\frac{L}{D}$	$\xi$	$\eta_d$	$\varepsilon_m$
0,25	0,0625	12	0,61	0,41	0,033	24	0,39	0,26	0,021	36	0,27	0,18	0,015	48	0,16	0,009
0,375	0,1406	8	0,69	0,47	0,085	16	0,50	0,34	0,062	24	0,39	0,26	0,048	32	0,31	0,038
0,53	0,2809	5,66	0,76	0,51	0,19	11,32	0,63	0,42	0,155	16,98	0,48	0,32	0,12	22,64	0,40	0,10
0,675	0,4556	4,44	0,81	0,55	0,32	8,88	0,67	0,46	0,27	13,33	0,58	0,39	0,23	17,76	0,47	0,19
1,0	1,0	3	0,86	0,58	0,76	6	0,72	0,49	0,63	9	0,67	0,45	0,59	12	0,60	0,53

Подставив в формулу (2) выражения для  $L_d$  и  $A$ , получим формулу для расчёта условного КЕО прямо под световодом:

$$\varepsilon_m = [\eta \cdot D^2 \cdot 0,83 / (4 \cdot r^2)] \cdot 100 (\%),$$

где  $0,83 = (180 - 30) / 180$ ; 30 – средняя высота солнца в градусах, соответствующая условиям пасмурного неба МКО.

Результаты расчёта КЕО под прямым ПТС для подземных пространств на разной глубине при разных диаметрах ПТС и коэффициентах отражения зеркальной внутренней поверхности трубы ПТС представлены в таблице и на рис. 6 и 7.

КЕО растёт с ростом  $D$  практически параболически (рис. 6), а с ростом  $L$  плавно снижается (рис. 7). Это объяснимо тем, что от  $D$  зависит  $\Phi_n$ , а от  $L$  – только количество отражений в трубе. При этом, чем  $D$  больше, тем отражений (при данной  $L$ ) меньше.

Рассчитав КЕО непосредственно под ПТС, можно рассчитать КЕО и в любой точке помещения либо по закону Ламберта [2, 5], либо по методу, предлагаемому в СП 23–102–2003 (как от круглого источника света) [6].

Следует отметить, что приведённые в таблице и на рис. 6 и 7 значения  $\varepsilon_m$  получены без учёта внутренних отражений в освещаемом пространстве. Последние можно оценивать по СП 23–102–2003, как для обычных систем верхнего естественного освещения. При этом среднее значение  $\varepsilon_m$  для всей освещаемой площади подземного пространства определяются как сумма значений  $\varepsilon_m$  во всех расчётных точках помещения от всех ПТС, делённая на количество этих точек.

## Выводы

Подземное пространство города, там, где это возможно, должно хорошо освещаться естественным светом. Это обеспечивает связь людей с внешней средой. Однако обычные системы верхнего естественного освещения можно применять при неглубоком расположении подземных пространств. Какова максимальная глубина для эффективного применения разных систем естественного света, ещё предстоит изучить. К тому же, обычные системы естественного освещения требуют использования больших площадей на поверхности земли, что снижает воз-



возможности планировки свободных площадей и их рекреационную ценность. Использование ПТС для освещения подземных пространств свободно от этого недостатка. Кроме того, использование ПТС не имеет таких ограничений по глубине, как для систем естественного света.

Как при применении обычных систем естественного освещения, так и ПТС, наибольшая экономия электроэнергии может достигаться только в сочетании с автоматическим регулированием дополнительного искусственного освещения. При этом с точки зрения естественного освещения наиболее целесообразны ПТС большого диаметра, что, однако, вступает в противоречие с их стоимостью и ростом теплопотуплений и теплопотерь через их конструкции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бракале Дж. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световой системы «SOLARSPOT» // Светотехника. – 2005. – № 5. – С. 34–42.
2. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // Светотехника. – 2011. – № 5. – С. 41–47.
3. Кузнецов А.Л., Оселедец Е.Л., Соловьёв А.К., Столяров М.В. Опыт применения полых трубчатых световодов для естественного освещения в России // Светотехника. – 2011. – № 6. – С. 4–11.
4. Tageslicht im Untergrund. Innovative Tageslichtlenkung in der Metro von Kopenhagen // TAGESLICHT (Sonderausgabe der Zeitschrift LICHT). – 2004. – № 1. – S. 8–9.
5. Соловьёв А.К., Туснина О.А. Сравнительный теплотехнический расчёт систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 2. – С. 24–35.
6. Соловьёв А.К. Физика среды. – М.: Издательство АСВ, 2016. – 341 с.



**Соловьёв Алексей Кириллович,**  
доктор техн. наук,  
проф. Окончил  
в 1965 г. МИСИ им.  
В.В. Куйбышева.  
Профессор кафедры  
«Проектирование  
зданий и сооруже-  
ний» (б. кафедра  
«Архитектура гра-

жданских и промышленных зданий») НИУ «МГСУ». Член Европейской академии наук и искусств и редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering». Имеет звание «Почётный строитель РФ» и «Заслуженный работник высшей школы РФ»

## Работа отраслевого НТС

### Очередное заседание бюро НТС «Светотехника»

15 марта 2018 года под председательством генерального директора ВНИСИ им. С.И. Вавилова А.Г. Шахпарунянц состоялось заседание бюро научно-технического Совета «Светотехника». Почти половина заседания была посвящена обсуждению подготовки магистерских диссертаций студентами кафедры светотехники НИУ «МЭИ». Члены бюро НТС активно задавали вопросы, обсуждали и высказывали важные пожелания студентам кафедры Ксении Нечаевой (тема: «Разработка световой среды станции «Красносельская», соответствующей современным санитарным нормам и требованиям, предъявляемым к объектам «культурного наследия»), Виктории Рыбиной (тема: «Разработка установки для исследования монохроматических порогов зрительной системы»), Александру Гулиеву (тема: «Разработка световой среды станции «Комсомольская – радиальная», соответствующей современным санитарным нормам и требованиям, предъявляемым к объектам «культурного наследия») и Виталию Кузьмину (тема: «Компьютерная обработка результатов измерений освещённости автомобильных дорог мобильным способом»).

Следующая часть заседания была посвящена вопросу перспектив применения мобильных способов измерения освещённости, по которому выступил руководитель департамента информационных технологий МСК «БЛ Групп» Д.Ю. Чепелевский. Он отметил, что во ВНИСИ уже существует автомобиль с датчиками освещённости, реализована программа обработки результатов измерений и создана база данных полученных результатов. Активно идёт совместная работа БЛ Групп и ВНИСИ над последним этапом – картированием. При обсуждении было отмечено, что есть проблема с трудозатратами, но работа будет востребована и уже проявилась заинтересованность пользователей в успешном завершении проекта.

Результаты исследований на экспериментальной лабораторной установке по определению показателя яркости дорожных покрытий были доложены сотрудниками ВНИСИ В.М. Пятигорским и А.А. Коробко. Было отмечено, что в настоящее время проектировщики уличного освещения пользуются для расчётов в про-

граммах устаревшими отечественными данными по асфальтовым покрытиям или зарубежными параметрами, существенно отличающимися от российских. В Учебно-исследовательском комплексе ВНИСИ была собрана экспериментальная установка со светодиодным осветителем, отражателем, обеспечивающая необходимые характеристики освещения участка покрытия диаметром 70 мм и параметры канала измерения. Предемонстрированы слайды с оптической и кинематической схемами установки. От поставщиков получено необходимое количество образцов из московского региона, но, как выяснилось, одного типа. С помощью яркомера LMT получено 120 фотографий, а по ним – интегральные характеристики показателя яркости: освещённость и зеркальность. Этот тип отечественного асфальтового покрытия по зеркальности относится к классу R2, но не имеет аналога по освещённости. Полученные нестандартные данные заложены авторами в программу расчёта установок уличного освещения «Light in Night». Докладчики отметили, что задача оказалась сложной и многофакторной, но во ВНИСИ теперь есть установка для измерения показателя яркости дорожных покрытий, а для проверки её работы проведены исследования опытных образцов, разработано необходимое программное обеспечение.

Последним вопросом повестки дня была подготовка 1-ой международной научно-практической конференции «Свет в музее», которая пройдёт в Эрмитаже Санкт-Петербурга 18–20 апреля 2018 года, организаторами которой выступают Государственный Эрмитаж, НТС «Светотехника» и ВНИСИ. Предполагаются доклады в пленарном заседании доктора С. Кэннона Брукса (Великобритания), президента международного комитета архитектуры и музейных технологий ИКОМ Ж. Хильгерсона (Нидерланды), А.В. Богданова (Эрмитаж, Россия), Н.П. Воробьёва («Нео ЭКСПО-Арт», Россия), С. Теллини и Ф. Ианноне (Италия), Л.Г. Новаковско-го («Фарос-Алеф»), А. Шульца (Германия) и А.Г. Шахпарунянц (ВНИСИ).

**Учёный секретарь НТС  
«Светотехника» к.т.н. Снетков В.Ю.**

# Бесферритная индукционная люминесцентная лампа с замкнутой разрядной трубкой

О.А. ПОПОВ, П.В. СТАРШИНОВ, В.Н. ВАСИНА

НИУ «МЭИ», Москва  
E-mail: popovoleg445@yahoo.com

## Аннотация

Проведено экспериментальное исследование характеристик безэлектродной бесферритной индукционной люминесцентной лампы с замкнутой разрядной трубкой внутреннего диаметра 30 мм, имеющей вид вытянутого кольца длиной 500 мм и высотой 70 мм. Индукционный разряд возбуждался в смеси паров ртути (давление  $\approx 10^{-2}$  мм рт. ст.) и аргона (0,1 мм рт.ст.) на частоте 2,0 МГц при мощности лампы 150–202 Вт с помощью 6-витковой катушки индуктивности (КИ), размещённой на внешней поверхности замкнутой трубки по её «внешнему» периметру. Внутренняя поверхность разрядной трубки покрыта смесью трёх узкополосных люминофоров, обеспечивающих коррелированную цветовую температуру и общий индекс цветопередачи лампы 3100 K и 80 соответственно. Экспериментально установлено, что с повышением поглощаемой плазмой разряда мощности со 127 до 180 Вт напряжение на КИ и ток КИ практически не меняются, и, соответственно, практически не меняется мощность потерь в проводе катушки (22–25 Вт). При этом световой поток лампы возрастает с 10430 до 13500 лм, а световые отдачи разрядной части лампы и лампы в целом снижаются с 82 до 75 лм/Вт и с 70 до 67 лм/Вт соответственно.

**Ключевые слова:** бесферритная индукционная лампа, ртутный разряд НД, катушка индуктивности, мощность потерь, световая отдача.

## 1. Введение

Безэлектродные люминесцентные лампы трансформаторного типа (ЛТТ), разряд в которых возбуждается в смеси паров ртути и инертных газов на частоте 0,1–14 МГц, имеют мощность 50–500 Вт, высокую световую отдачу ( $> 100$  лм/Вт) и весьма большой срок службы ( $> 60000$  ч [1,

2]. Однако существенный недостаток ЛТТ – их дорогие, хрупкие кольцевые ферромагнитные магнитопроводы, повышающие себестоимость и снижающие надёжность работы ЛТТ.

В связи с этим представляется актуальным создание бесферритных индукционных ламп с замкнутой разрядной трубкой, обладающих достоинствами ЛТТ, но лишённых их недостатков, связанных с применением кольцевых магнитопроводов. Известны экспериментальные исследования бесферритных ртутных люминесцентных ламп НД с замкнутой разрядной трубкой диаметром 5 и 7 см, возбуждаемых на частоте 100–400 кГц с помощью катушки индуктивности (КИ), размещённой по «внутреннему» периметру лампы [3, 4]. Исследования показали, что световая

отдача разрядной части лампы  $\eta_{v, pl}$ , выражаемая как

$$\eta_{v, pl} = \Phi_v / P_{pl}, \quad (1)$$

где  $\Phi_v$  – световой поток лампы,  $P_{pl}$  – мощность разряда (поглощаемая плазмой разряда мощность) – практически одинакова с  $\eta_{v, pl}$  ЛТТ с такими же конструктивными параметрами разрядной трубки и работающими при таких же уровнях  $P_{pl}$ .

Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований электрических и фотометрических характеристик бесферритной люминесцентной лампы на основе индукционного ртутного разряда НД, возбуждаемого в замкнутой трубке с помощью КИ, размещённой по её «внешнему» периметру.

## 2. Экспериментальная установка

Индукционный разряд возбуждался в лампе (рис. 1) на частоте 2,0 МГц при ВЧ мощности лампы  $P_{lamp} = 150–202$  Вт в смеси паров ртути и аргона в замкнутой стеклянной трубке внутреннего диаметра 30 мм, внутренняя поверхность которой была покрыта смесью трёх узкополосных люми-

Рис. 1. Схематический вид бесферритной индукционной лампы с замкнутой разрядной трубкой:

1 – разрядная трубка; 2 – катушка индуктивности; Hg – «отросток» с амальгамой; ВЧ – высокочастотное напряжение

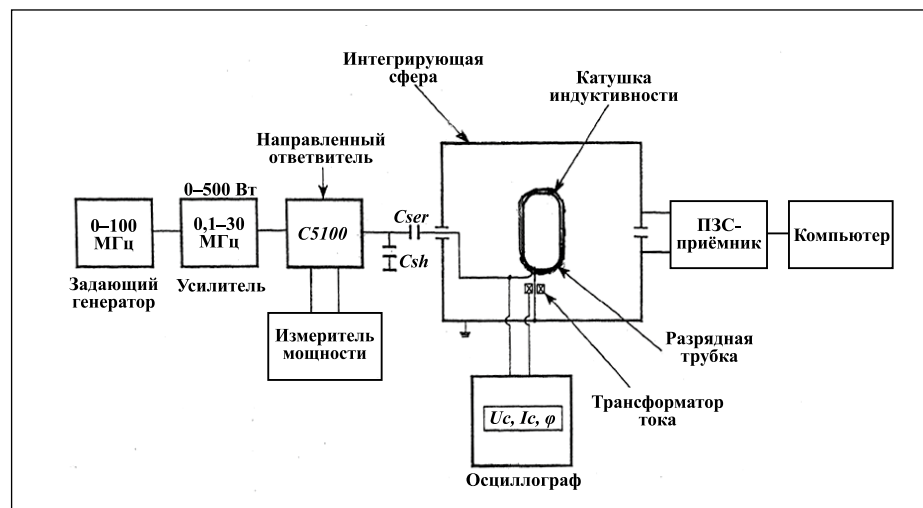
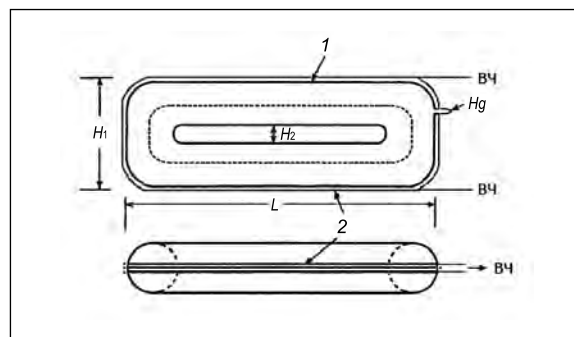


Рис. 2. Блок-схема питания индукционной лампы и измерений её характеристик



Рис. 3. Зависимости светового потока лампы  $\Phi_v$  и мощности потерь в проводе катушки индуктивности разряда (поглощаемой плазмой разряда мощности)  $P_c$  от мощности разряда ( $P_{pl}$ ):  $\blacksquare$  –  $\Phi_v$ ;  $\blacklozenge$  –  $P_c$

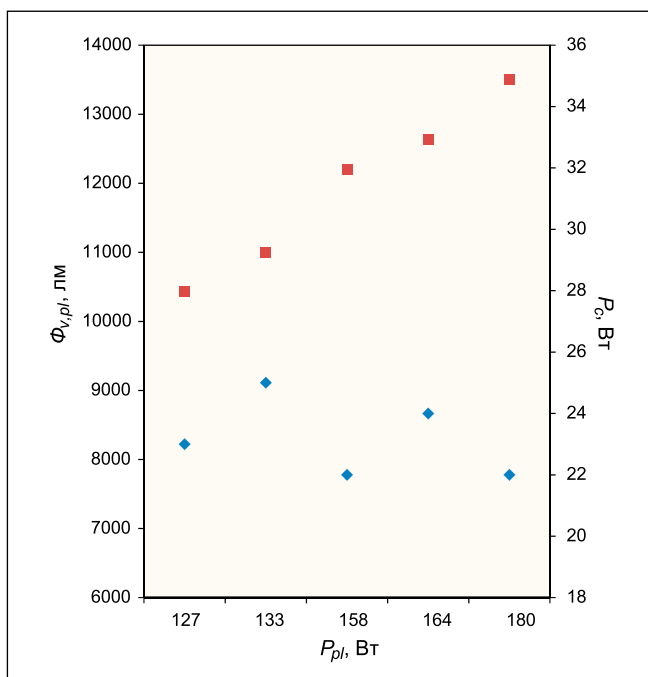


Рис. 4. Зависимости световых отдач лампы ( $\eta_v$ ), разрядной части лампы ( $\eta_{v,pl}$ ) и КПД катушки индуктивности разряда ( $\eta_c$ ) от мощности разряда (поглощаемой плазмой разряда мощности)  $P_{pl}$ :  $\blacklozenge$  –  $\eta_{v,pl}$ ;  $\blacksquare$  –  $\eta_v$ ;  $\blacktriangle$  –  $\eta_c$

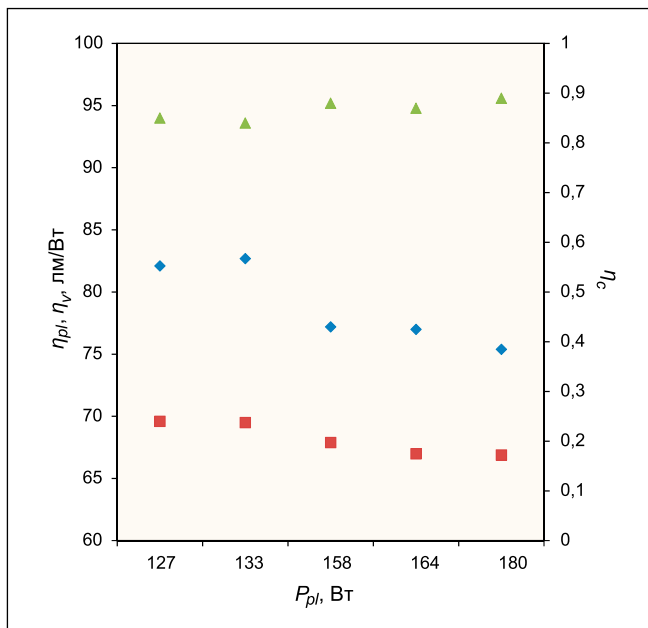
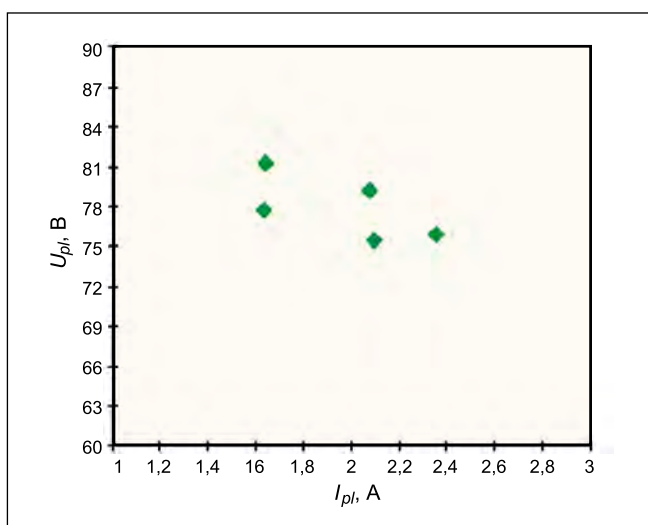


Рис. 5. ВАХ индукционной бесферритной лампы – зависимость напряжения на разрядном витке  $U_{pl}$  от его тока (тока лампы)  $I_{pl}$



нофоров, обеспечивающих коррелированную цветовую температуру  $T_{кд} = 3100\text{ K}$  и общий индекс цветопередачи  $R_a = 80$ . Лампа имела вид вытянутого кольца длиной  $L = 500\text{ мм}$  и высотой  $H_1 = 70\text{ мм}$  с расстоянием между параллельными «длинными» участками разрядной трубки  $H_2 = 6\text{ мм}$ . 6-витковая КИ из медного посеребрённого провода толщиной  $1,6\text{ мм}$  с удельным погонным сопротивлением  $2,2 \cdot 10^{-3}\text{ Ом/см}$  (низким) охватывала замкнутую разрядную трубку по её «внешнему» периметру (рис. 1). Оптимальное, по максимуму  $\Phi_v$ , давление паров ртути ( $\approx 10^{-2}\text{ мм рт.ст.}$ ) соответствовало подобранной температуре амальгамы (*Bi-In-Hg*), а давление аргона составляло  $0,1\text{ мм рт.ст.}$

Согласно рис. 2, от задающего генератора синусоидальное напряжение (частотой  $2,0\text{ МГц}$ ) подавалось на широкополосный усилитель, а оттуда – на направленный ответвитель, соединённый через согласующий контур с КИ лампы. С помощью направленного ответвителя (*C5100*) и ваттметра измерялись падающая и отражённая ВЧ мощности  $P_{for}$  и  $P_{ref}$  соответственно. Проходящая через ответвитель ВЧ мощность  $P_{tr} = P_{for} - P_{ref}$  складывалась из  $P_{pl}$ , мощности потерь в проводе КИ  $P_c$  и мощности потерь в ёмкостях  $C_{ser}$  и  $C_{sh}$  согласующего контура  $P_{cap}$ . Ток КИ  $I_c$  и напряжение на КИ  $U_c$ , фазовый сдвиг между ними  $\varphi$  и потребляемые согласующим контуром и лампой мощности ( $P_{pl} + P_c$  и  $P_{cap}$ ) измерялись с помощью высоковольтного пробника, трансформатора тока и 4-канального осциллографа.

$\Phi_v$ , спектр излучения лампы,  $T_{кд}$  и  $R_a$  определялись с помощью компьютеризированной интегрирующей сферы. При этом световая отдача лампы  $\eta_v$  рассчитывалась как  $\eta_v = \Phi_v / P_{lamp} = \Phi_v / (P_{pl} + P_c)$ , а  $\eta_{v,pl}$  – по формуле (1).

### 3. Результаты эксперимента и их обсуждение

Измерения показали, что в исследованном интервале  $P_{pl}$  ( $127\text{--}180\text{ Вт}$ )  $I_c$ ,  $U_c$  и  $P_c$  практически не менялись, находясь в пределах  $3,75\text{--}4,0\text{ А}$ ,  $800\text{--}850\text{ В}$  и  $22\text{--}25\text{ Вт}$  соответственно, а  $\Phi_v$  монотонно рос: с  $10440\text{ лм}$  ( $P_{pl} = 127\text{ Вт}$ ) до  $13500\text{ лм}$  ( $P_{pl} = 180\text{ Вт}$ ) (рис. 3).

КПД КИ  $\eta_c$ , определяемый как  $\eta_c = 1 - P_c / (P_{pl} + P_c)$ , с повышением  $P_{pl}$

в указанном интервале возрастал – с 0,85 до 0,89, а  $\eta_{v, pl}$  и  $\eta_v$  снижались – с 82 до 75 лм/Вт и с 70 до 67 лм/Вт соответственно (рис. 4). Снижение  $\eta_{v, pl}$  с повышением  $P_{pl}$  (концентрации электронов), очевидно, связано с возрастанием частоты тушащих соударений возбуждённых атомов ртути с электронами [4, 5].

Полученные в работе значения  $\eta_{v, pl}$  бесферритной люминесцентной лампы с замкнутой разрядной трубкой на 5–7 % ниже, чему у ЛТТ с разрядной трубкой диаметром 35 мм, возбуджаемой на частоте 135 кГц при таких же, как в исследованной лампе, удельных мощностях плазмы [6].

В рамках трансформаторной модели индукционного разряда [3] нами был проведён расчёт ВАХ такого разряда (зависимость ВЧ напряжения на плазменном витке  $U_{pl}$  от разрядного тока лампы  $I_{pl}$ ). Из рис. 5 видно: ВАХ носит слабо выраженный падающий характер («отрицательная» ВАХ), что является характерной особенностью плотной ртутной плазмы НД [5, 7].

#### 4. Заключение

Экспериментально установлено, что  $\eta_{v, pl}$  бесферритной индукционной люминесцентной ртутной лампы НД с замкнутой разрядной трубкой внутреннего диаметра 30 мм, работающей при  $P_{pl} = 120–150$  Вт (удельная мощность  $P_l = 1,2–1,4$  Вт/см), превышает 80 лм/Вт. Повышения  $\eta_{v, pl}$  можно добиться, увеличив этот диаметр, либо повысив давление аргона до 0,2–0,3 мм рт. ст., при котором в ЛТТ с разрядной трубкой меньшего диаметра (16,6 мм), работавшей при  $P_l = 2,1$  Вт/см, наблюдался максимум потока излучения в линии ртути 254 нм [8]. Учитывая, что  $\eta_v = \eta_c \cdot \eta_{v, pb}$  для существенного повышения  $\eta_v$  следует поднять  $\eta_c$  до 0,95–0,97 снижением  $P_c$  до 3–5 Вт. Этого можно добиться, используя в КИ многожильный провод (литцендрат) с низким удельным сопротивлением: не более  $5 \cdot 10^{-4}$  Ом/см [3, 4, 6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shaffer J.W., Godyak V.A. The development of low frequency high output electrodeless fluorescent lamp // J. Illum. Eng. Soc.– 1999. – No. 28. – P. 142–144.
2. Попов О.А., Чандлер Р.Т. Индуктивный источник света трансформаторного

типа на частотах 150–400 кГц мощностью 200–500 Вт // Теплофизика высоких температур.– 2007.– № 4. – С. 795–800.

3. Popov O.A., Chandler R. Ferrite-free high power electrodeless fluorescent lamp operated at a frequency of 160–1000 kHz // Plasma Sources Sci. Technol.– 2002. – Vol. 11, No. 2. – P. 218–227.

4. Попов О.А., Никуфорова В.А. Индукционный бесферритный источник света мощностью 300–400 Вт на частоте 200–400 кГц // Вестник МЭИ.– 2010.– № 2. – С. 159–164.

5. Elenbaas W. Light sources. – N.Y.: Crane, Russak & Co, 1972.– 240 p.

6. Попов О.А. Исследование и разработка индукционных люминесцентных источников света на частотах 100–15000 кГц / Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: Изд. МЭИ, 2011.– 40 с.

7. Свитнев С.А., Старшинов П.В., Левченко В.А., Попов О.А. Экспериментальное исследование электрических и оптических характеристик безэлектродной УФ-лампы трансформаторного типа // Светотехника.– 2014.– № 6. – С. 39–43

8. Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В. Электрические и излучательные характеристики лампы трансформаторного типа с разрядной трубкой диаметром 16,6 мм // Светотехника.– 2016.– № 1. – С. 41–44.



**Попов Олег Алексеевич**, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



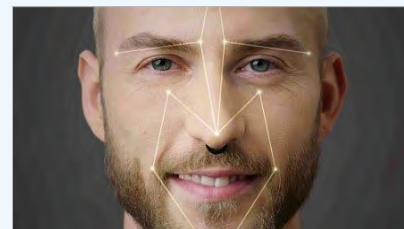
**Старшинов Павел Валерьевич**, магистр техн. наук. Окончил в 2015 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ». Аспирант этой кафедры



**Васина Виктория Николаевна**, студент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»

#### Новый ИК диод компании Osram обеспечивает лучшее распознавание по лицу

Когда Osram открывала в прошлом году в Малайзии свой завод светодиодных кристаллов, обошедшийся в \$440 млн она утверждала, что завод будет обеспе-



чивать потребности не только освещения, но и всего «цифрового» мира. В подтверждение этого она представила усовершенствованный ИК диод для распознавания по лицу при разблокировке компьютеров и телефонов.

Двумерное распознавание по лицу – один из нескольких биометрических методов, который наряду со сканированием сетчатки, регистрацией отпечатков пальцев и др. предохраняет технические устройства от несанкционированного доступа. При этом текущее изображение сравнивается с ранее сохранёнными данными о чертах лица человека, таких как ширина рта, длина переносицы и расстояние между глазами.

Новый ИК диод SYNIOS P2720 (940 nm) даёт несколько более длинноволновое (940 нм), чем ранее использовавшееся (850 нм) излучение. По утверждению компании Osram, это ослабляет эффект красноты (red glow) в изображении лица.

Osram утверждает, что новый ИК диод уже в продаже и имеет те же размеры, что и более ранний вариант SYNIOS P2720 (850 nm). Компания производит его на своих заводах в Пенанге, Малайзия, и Регенсбурге, Германия.

При официальном открытии завода в Пенанге в ноябре 2017 г. оптимистично говорилось о рынке, который будет использовать СД не только для освещения, но и в других применениях: например, в биометрии (для обеспечения безопасности компьютеров), в датчиках для тренажёров для фитнеса, в устройствах, обеспечивающих возможность управления автомобилями без водителей и беспилотниками, по большей части с использованием интернета вещей. При этом, демонстрируя свою глубокую убеждённость, генеральный директор Osram O. Berlien официально открыл ворота завода, посмотрев на пластинку с СД-иридосканером этой компании.

ledsmagazine.com  
21.02.2018



# Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: качество и технико-экономическое обоснование применения

А.Т. ОВЧАРОВ<sup>1, 2</sup>, Ю.Н. СЕЛЯНИН<sup>3</sup>, Я.В. АНЦУПОВ<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск

<sup>2</sup> ООО «Световые системы», Томск

<sup>3</sup> ООО «Солар», Краснодар

E-mail: oat\_08@mail.ru

## Аннотация

Предложен концептуальный подход к построению гибридных осветительных комплексов (ГОК) для систем совмещённого освещения (ССО), отличающихся высокой энергоэффективностью и комфортностью создаваемой световой среды. Приведено сравнение по энергоэффективности альтернативных систем естественного света на примере реализованного проекта ССО в Семейном Торговом Центре «МЕГА-Адыгея».

При этом выполнен сравнительный анализ ССО на базе ГОК и типовых светопроемов верхнего естественного освещения (зенитные фонари, прозрачная кровля). Показаны лучшие свето- и теплотехнические характеристики и преимущество ГОК как в тёплый период года (малые теплопритоки от солнечной радиации), так и в холодный (малые тепловые потери). Обосновано, что затраты на приобретение и установку ГОК в здании являются капитализацией средств, которые ранее направлялись на оплату услуг энергоснабжения. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций в ГОК для указанного торгового предприятия – менее 3-х лет.

**Ключевые слова:** система совмещённого освещения, гибридный осветительный комплекс, светодиоды, система автоматического управления, спектр излучения, теплопритоки от солнечной радиации, теплопотери, дисконтированный срок окупаемости, светопроемы, зенитные фонари, прозрачная кровля.

## Введение

Нарастающий интерес потребителей к инновационным системам совмещённого освещения (ССО) на базе

гибридных осветительных комплексов (ГОК) как эффективному техническому средству достижения в помещениях объекта световой среды высокого качества при одновременно кардинальном снижении энергопотребления на освещение побудил авторов провести сравнение характеристик ССО на базе ГОК и типовых светопроемов верхнего освещения и разработать оценочный вариант технико-экономического обоснования (ТЭО) применения ГОК как альтернативы указанным традиционным светопроемам (зенитные фонари, прозрачная кровля). Эти обе задачи были решены на примере пилотного проекта ССО, реализованного в 2015–2016 гг. в Семейном Торговом Центре (СТЦ) «МЕГА-Адыгея» [1] (далее – СТЦ).

## Качество световой среды

ССО на базе ГОК, скомбинированная с системой автоматического управления (САУ), комплексно решает задачи создания световой среды высокого качества и систем освещения высокой энергоэффективности [1]. Наличие в ССО естественного света – определяющий фактор создания комфортной световой среды. Использование в осветительных системах

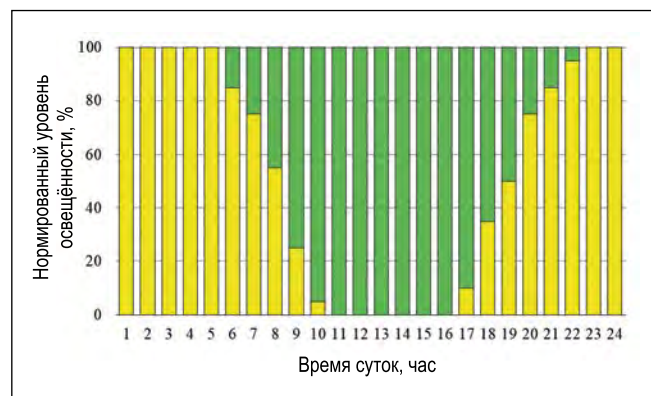
естественного света в сочетании со светодиодами высокой энергоэффективности и САУ искусственным компонентом обеспечивает превосходство ССО над традиционными решениями осветительных систем в плане экономичности.

Отличительной особенностью ССО является стабильность характеристик световой среды при непрерывно меняющемся количественном соотношении её естественного и искусственного компонентов. Регулируемый системой автоматического управления (САУ) колебательный ритм переходов между режимами естественного, смешанного и искусственного света задаёт программируемую динамику количественных соотношений между компонентами ГОК при постоянстве общего уровня освещения (рис. 1).

Развитие ССО протекает синхронно с активным внедрением полых трубчатых световодов (ПТС) в системы естественного освещения и светодиодов в системы общего искусственного освещения. Широкое проникновение световодов в область естественного освещения обусловлено прогрессом в создании материалов с рекордными значениями коэффициента отражения (99,7 %) во всей видимой области спектра. Такой технологический прорыв в области отражающих материалов способствует передаче естественного света на большие расстояния с очень малыми потерями и спектральными искажениями (рис. 2) [2].

Ключевым фактором развития ССО явилось бурное развитие и проникновение в сферу общего освещения светодиодов благодаря их: повышенной световой отдаче – до 210 лм/Вт [3] и более; большей управляемости по световому потоку – от 0–10 % до 100 %; близости относительного спектра излучения светодиодов нового поколения к солнечному (рис. 3) [4, 5],

Рис. 1. Принцип работы системы автоматического управления:  
■ – уровень искусственной освещённости, %;  
■ – уровень естественной освещённости, %

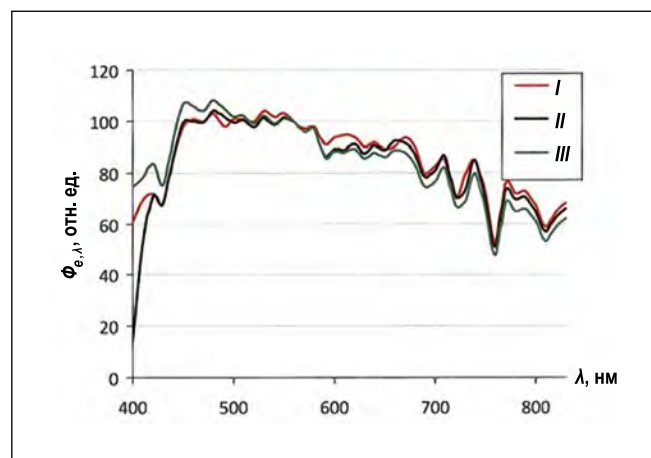


что способствует благоприятному зрительному восприятию совмещённого освещения.

В сумме это стало веским аргументом для применения светодиодов как основы искусственного компонента ГОК. Указанная выше высокая управляемость светодиодами открывает перспективы использования САУ в ССО и сближения естественного и искусственного освещения, в частности, по таким показателям световой среды, как качество цветопередачи и биологическая безопасность. Плавное изменение интенсивности искусственной компоненты смешанного освещения в зависимости от уровня естественной освещённости в помещении делает практически незаметными для глаза переходы между режимами естественного, смешанного и искусственного света.

Принципиальным фактором комфортного зрительного восприятия совмещённого освещения является то обстоятельство, что аддитивное смешение световых излучений происходит в полости оптического тракта ГОК (оптического тракта ПТС). В результате излучение ГОК на уровне рассеивателя, попадающее в поле зрения, воспринимается как однородный белый свет, обладающий свойствами сов-

Рис. 2. Относительные спектры: стандартного источника света «D55» (I); естественного света на выходе оптического канала ПТС «Solatube®» (II) и естественного света на входе ПТС (III)



мещённого излучения. Стабильность светового потока ГОК на уровне рассеивателя обеспечивает стабильность его пространственного светораспределения. Стоит также отметить возможность диммирования обоих компонентов (естественного [6] и искусственного) светового потока ГОК и практически полное отсутствие его пульсации, а также то, что ГОК в ССО помещений способны формировать световую среду высокого качества. Авторы полагают, что ограничения и запреты на совмещённое освещение в ряде нормативных документов [7, 8] могут быть с помощью ГОК для ССО преодолены, что открывает перспек-

тивы для комфортного и физиологически безопасного освещения высокой энергетической эффективности и позволит применять ГОК в системах общего освещения объектов с высокими требованиями к качеству световой среды (детские дошкольные и образовательные учреждения, больницы и др.) без ограничений.

### Технико-экономическое обоснование применения

Отправная точка в принятии решения о реализации инвестиционных проектов – ТЭО, и потому в данном случае актуальны оценки экономиче-

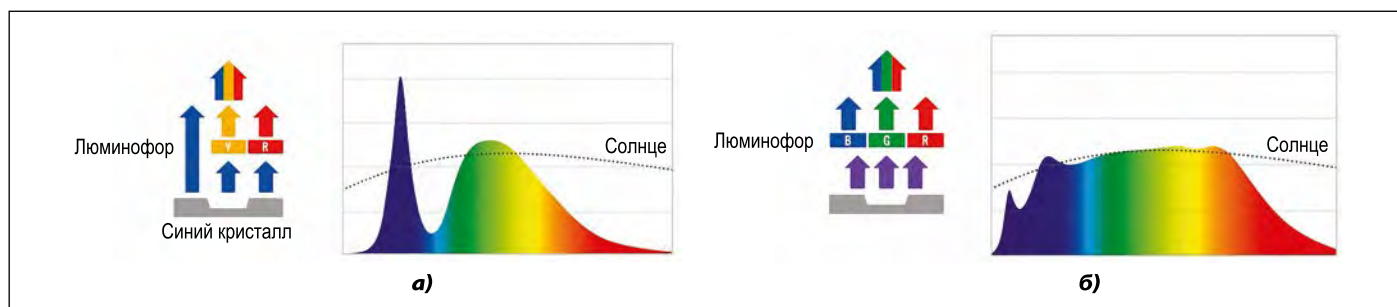


Рис. 3. Относительные спектры излучения и принципы формирования излучения светодиодов первого (а) и нового (б) поколений. Светодиоды нового поколения – производства *Toshiba Materials Co. LTD* (технология «TRI-R») [4] и *Seoul Semiconductor* (серия «SunLike») [5]



Рис. 4. Вид зала № 1 после реконструкции осветительной установки



Рис. 5. Типовое верхнее естественное освещение зала № 2: прозрачная кровля и зенитные фонари



ской эффективности и срока окупаемости инвестиций в построение инновационных ССО на базе ГОК.

### Объекты сравнения

Технико-экономическое сравнение проводилось для двух залов СТП: зал № 1, в котором реализован пилотный проект ССО (рис. 4), и зал № 2, с типовыми светопроёмами верхнего освещения (рис. 5). Сравнение касалось теплоступлений от солнечной радиации и теплопотерь через светопроёмы при прочих равных условиях функционирования залов.

### Сравнительная характеристика световой среды залов

Результаты измерений распределения освещённости в обоих залах СТП, выполненные 14.04.2017, достаточно полно характеризуют световую среду. В зале № 1, оснащённом ГОК: равномерность достаточно высока ( $E_{\min} / E_{\text{ср}} \geq 0,4$ ); уровень освещения соответствует требованиям технического задания ( $E_{\text{ср}} = 493$  лк), независимо от погодных условий, а световую среду можно считать комфортной, без слепящей яркости верхнего освещения. В зале № 2 картина прямо противоположная: высочайшие уровни слепящей яркости прямого солнечного света и неравномерности распределения освещённости; освещённость в полдень в солнечном пятне на полу зала – 23100 лк, а за границей солнечного пятна – 3800 лк (соотношение 6:1); яркое солнечное пятно, слепящее и блуждающее по залу в течение дня, и значительное превышение нормы температурного режима из-за интенсивных теплопритоков от солнечной радиации даже при полной мощности системы кондиционирования создают дискомфорт для покупателей и работ-

ников СТП, причём для устранения этого дискомфорта в летние месяцы светопроёмы верхнего естественного освещения закрываются полупрозрачным материалом.

### Метод расчёта теплопритоков

Исходные условия: 1) осветительная установка в зале № 1 – на базе ГОК, конструкция и параметры которых описаны ранее [1]; 2) естественное освещение зала № 2 – посредством типовых традиционных светопроёмов (зенитные фонари и прозрачная кровля); 3) площади обоих залов одинаковы и равны площади зала, для которого выполнен проект ССО на базе ГОК,  $S_{\text{п}} = 1920 \text{ м}^2$ ; 4) нормированное значение горизонтальной освещённости для зала № 1  $E_{\text{г}}$ , по техническому заданию, – не менее 300 лк; 5) расчётное значение КЕО для верхнего освещения обоих помещений  $e_{\text{п}} = 0,03$  (3 %); 6) расчёты удельной мощности теплопритоков проводятся в программе «Cold Balance Pro»; 7) теплопритоки идентифицируются как избыточное поступление тепла от солнечной радиации, которое для восстановления теплового баланса помещений ассимилируется системами вентиляции и кондиционирования; 8) влияние системы вентиляции на тепловой баланс обоих залов принимается одинаковым, и потому в расчётах не учитывается.

Несмотря на то, что КЕО в торговых залах не нормируется [8], его расчётное значение – по известным рекомендациям [9] – было использовано для определения площади остекления типовых светопроёмов.

Расчётная площадь остекления светопроёмов верхнего освещения зала № 2  $S_{\text{ф}}$  при заданных исходных условиях составляет около 400  $\text{м}^2$ . Расчёт  $S_{\text{ф}}$  выполнялся по формуле [9]

$$\frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{п}}} = \frac{e_{\text{п}} \cdot k_3 \cdot \eta_{\text{ф}}}{\tau_0 \cdot r_2 \cdot k_{\text{ф}}},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса;  $\eta_{\text{ф}}$  – световая характеристика;  $\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4$  – общий коэффициент светопропускания светопроёма, где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала остекления,  $\tau_2$  – коэффициент вида переплёта,  $\tau_3$  – коэффициент несущей конструкции покрытий,  $\tau_4$  – коэффициент солнцезащитного устройства;  $r_2$  – коэффициент, учитывающий повышение  $e_{\text{п}}$  при верхнем освещении;  $k_{\text{ф}}$  – коэффициент, учитывающий свет, отражаемый от поверхностей фонаря, считая  $k_3 = 1,5$ ;  $\eta_{\text{ф}} = 3,1$ ;  $\tau_0 = 0,576$  ( $\tau_1 = 0,8$ ;  $\tau_2 = 0,8$ ;  $\tau_3 = 0,9$ ;  $\tau_4 = 1$ );  $r_2 = 1,15$  и  $k_{\text{ф}} = 1$ .

Площадь светопроёмов верхнего естественного освещения зала № 1 представлена суммарной площадью поперечного сечения 18-ти ПТС марки «Solatube® M74», равной  $18 \cdot 0,43 \text{ м}^2 = 7,74 \text{ м}^2$ , где  $0,43 \text{ м}^2$  – площадь сечения одного ПТС.

### Результаты расчёта теплопритоков

Согласно расчётным графикам (рис. 6), в самый жаркий час (в июле) удельные мощности теплопритоков составляют 0,4 Вт/ $\text{м}^2$  (зал № 1) и 69 Вт/ $\text{м}^2$  (зал № 2), и, соответственно, полные мощности теплопритоков – 0,8 и 132 кВт. Мощность системы кондиционирования должна быть на 15–20 % больше мощности суммарных теплопритоков в помещение [10]. Соответственно, мощность системы кондиционирования, предназначенная для ассимиляции избыточного притока тепла от солнечной радиации, в зале № 1 составляет около 1 кВт, а в зале № 2 – около 158 кВт (соотношение этих значений – 1:158).

Из рис. 7, на котором приведены расчётные графики усреднённых месячных значений энергии теплопритоков от солнечной радиации для обоих залов в течение тёплого периода года, когда наружная температура превышает 22 °С (нормальную комнатную температуру) и обуславливает теплоприток избыточной энергии. Для Краснодара это период с мая по сентябрь. На основании расчётных данных определено среднее значение полного количества тепловой энер-

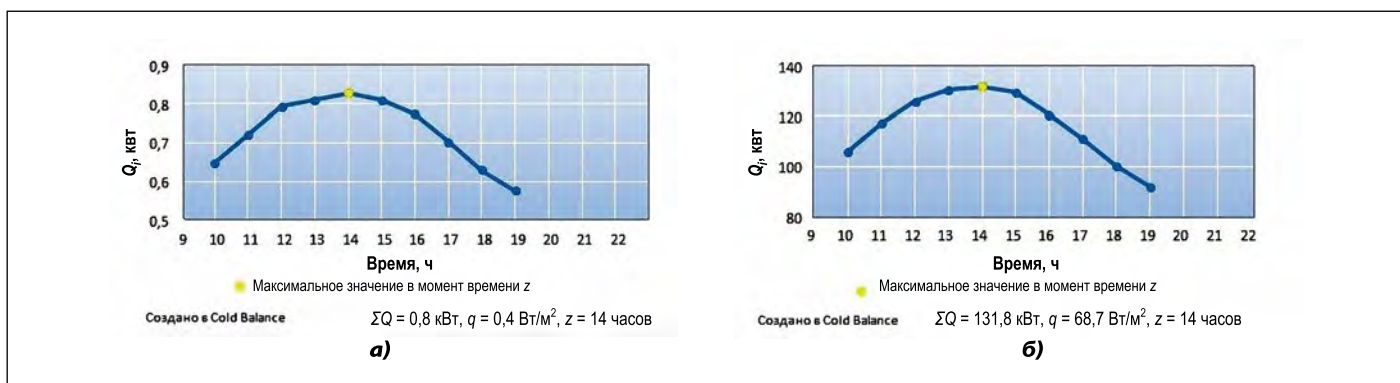


Рис. 6. Расчётные графики теплоступлений от солнечной радиации (мощность теплопритоков)  $Q_i$  в течение рабочего дня СТЦ (для июля): а – зал № 1; б – зал № 2

гии теплопритока в течение тёплого периода года, которое используется для расчёта дополнительной мощности кондиционирования и эксплуатационных затрат для поддержания оптимального микроклимата в помещении. Соответственно, для каждого зала получены следующие суммарные усреднённые значения избыточной полной энергии теплопритоков в год: 0,9 МВт·ч/год (зал № 1) и 149 МВт·ч/год (зал № 2). При этом экономия эксплуатационных расходов (потребление электроэнергии на ассимиляцию избыточных теплопритоков при 9-часовом режиме работы СТЦ (без выходных дней) составит 177 МВт·ч/год, что при условно принятом тарифе на электроэнергию в 6 руб./кВт·ч соответствует годовой экономии средств на оплату электричества, потребляемого системой кондиционирования, в 1,07 млн руб.

### Метод расчёта теплопотерь

В холодные периоды года индикатором энергетической эффективно-

сти сравниваемых светопроёмов залов СТЦ служат тепловые потери через светопроёмы  $Q_{пот}$ . Как известно [11], отопительный период – период года, когда устойчивая среднесуточная температура наружного воздуха меньше или равна  $+8\text{ }^\circ\text{C}$ . Для Краснодарского края он равен 149 суткам (ноябрь – март) [12]. Расчёт  $Q_{пот}$  производился по формуле [13]

$$Q_{пот} = \frac{A_o \cdot \Delta t}{R_i},$$

где  $A_o$  – площадь покрытия (кровли) зала, принятая равной  $S_{п}$  ( $1920\text{ м}^2$ ),  $\Delta t$  – разность между внутренней ( $22\text{ }^\circ\text{C}$ ) и наружной температурами,  $R_i$  – расчётное приведённое сопротивление теплопередаче кровли:

$$R_i = \frac{R_o \cdot A_o}{A_o + n \cdot A_i \cdot K_{oi}}, \quad (1)$$

где  $R_o$  – сопротивление теплопередаче однородного покрытия (кровли),  $n$  – количество светопроёмов верх-

него освещения,  $A_i$  – площадь одного светопроёма верхнего освещения,  $K_{oi}$  – коэффициент светопроёма верхнего освещения.

Значения величин, входящих в формулу (1), для залов СТЦ приведены в табл. 1.

### Результаты расчёта теплопотерь

Результаты расчётов потерь тепловой энергии и дополнительных затрат на компенсацию этих потерь приведены в табл. 2. В расчётах тепловых потерь через светопроёмы принято считать, что системы отопления работают с полной нагрузкой 12 ч в сутки. В нерабочее время нагрузка автоматически снижается системой диспетчеризации и управления зданием в целях экономии.

Согласно расчётам, сопротивление теплопередаче через ПТС втрое больше, чем через типовые светопроёмы, что обуславливает резкое снижение теплопотерь при оборудовании помещений системами с ПТС для верхне-

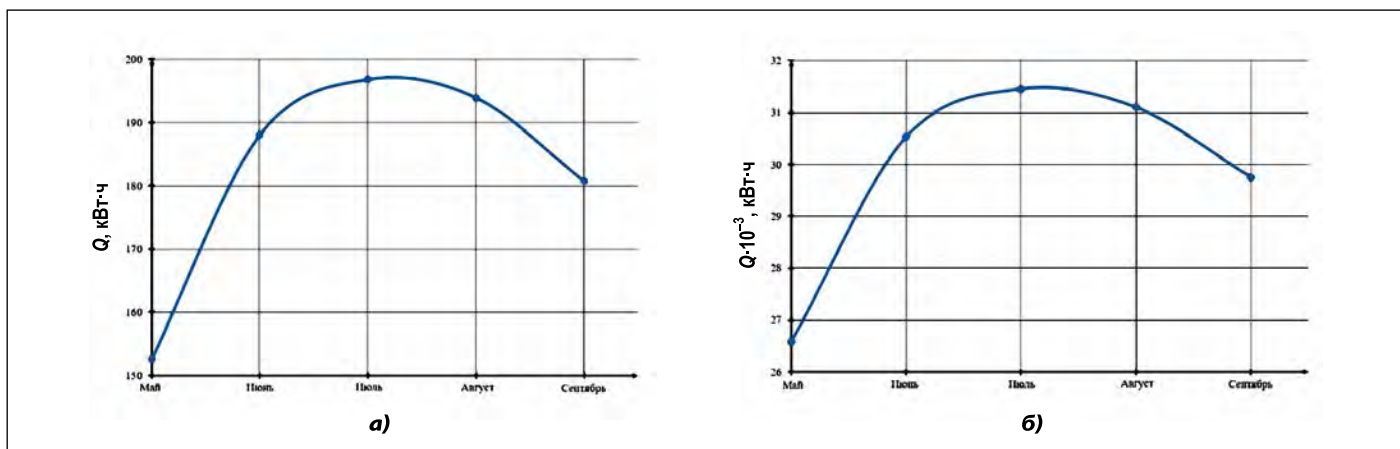


Рис. 7. Расчётные графики усреднённой помесечно энергии теплопритоков от солнечной радиации  $Q$  в течение периода май–сентябрь: а – зал № 1; б – зал № 2



Значения величин, входящих в формулу (1)

Таблица 1

Параметр	Значения параметра	
	Зал № 1	Зал № 2
$R_o, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	4,159	
$n, \text{ шт.}$	18	1
$A_i, \text{ м}^2$	$A_1 = 0,43$	$A_2 = 400$
$K_{oi}$	$K_{o1} = 32,874$	$K_{o2} = 14$

го естественного освещения. Для залов СТС применение ПТС в системе естественного освещения снижает тепловые потери в 170 раз и создаёт экономию порядка 22 тыс. руб. за 149 суток отопительного сезона.

**Оценка эффективности систем совмещённого освещения на базе ГОК**

Общая годовая экономия электроэнергии от внедрения естественного верхнего освещения на базе ГОК взамен типовых решений на примере одного из залов СТС составляет порядка 190 МВт·ч (или в денежном выражении – 1,1 млн руб./год).

Оценка эффективности инвестиций в инновационное освещение на основе ГОК на фоне типовых решений предполагает расчёт срока окупаемости дополнительных капитальных финансовых вложений. При этом целесообразно определять дисконтированный срок окупаемости, так как накопление денежных средств от доходов в результате экономии электричества будет происходить по дисконтной ставке минимум в 20 % в год (рост тарифов на электроэнергию). Принятые условия позволяют применять для расчёта ди-

сcountированного срока окупаемости выражение

$$\frac{K_1}{\text{Э} \cdot \left[ \sum_{T=1}^n (1+E)^T \right]} \approx K_2,$$

где  $T$  – дисконтированный срок окупаемости инвестиций в инновационный продукт, год;  $K_i$  – капитальные вложения по сравниваемым вариантам, руб.;  $\text{Э}$  – эффект экономии энергоресурсов, руб.;  $E$  – ставка дисконтирования (в данном расчёте принята равной 0,2);  $n$  – количество расчётных финансовых периодов.

Капитальные затраты на строительство осветительной системы зала № 2 предусматривают кроме затрат на устройство прозрачной кровли дополнительные затраты на создание осветительной установки искусственного освещения (по аналогии с ГОК), которая является неотъемлемой частью полной системы освещения зала (рис. 5). При этом принято считать, что основные компоненты осветительных систем искусственного освещения для обоих залов и САУ искусственным светом представляют собой полные аналоги по экономическим и техническим параметрам. Согласно [14], капитальные затраты на устрой-

ство прозрачной кровли с расчётными габаритами для зала № 2 составляют 3,3 млн руб. Сметная стоимость строительства осветительной установки искусственного света зала № 2 при заданных условиях (стоимость строительно-монтажных работ и осветительной техники со светодиодами) равна 1,25 млн руб. Таким образом, полная стоимость строительства осветительной системы (естественное + искусственное освещение) в зале № 2 составляет примерно 4,55 млн руб. А капитальные затраты на строительство ССО на базе ГОК, составляют около 7,56 млн руб, что обуславливает расчётный срок окупаемости менее 3-х лет.

Учитывая, что ГОК – перспективный инновационный продукт со сроком службы более 20 лет и гарантийным сроком 10 лет, экономически такой срок окупаемости вполне комфортен.

К сожалению, в расчётах не учтены дополнительные существенные экономические факторы, влияющие на стоимость объекта на стадии строительства: 1) требуемая подключаемая мощность питающих сетей (и соответствующий денежный эквивалент); 2) стоимость климатической техники, которая напрямую коррелирует с её мощностью. При этом практикой применения систем кондиционирования установлено, что стоимость 1 кВт мощности охлаждения в сметной стоимости строительства системы кондиционирования (оборудование, материалы, строительно-монтажные работы) равна \$800. С учётом этого обстоятельства, за счёт экономии в системе кондиционирования (в летнее время экономится 158 кВт мощности), окупаемость проекта ССО достижима уже на стадии проектирования.

Таблица 2

Результаты расчётов потерь тепловой энергии через светопроёмы верхнего освещения

Параметр	Значения параметра	
	Зал № 1	Зал № 2
$R_i, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	$R_1 = 3,67$	$R_2 = 1,07$
Теплопотери за отопительный сезон*, Гкал	0,07	11,7
Дополнительные затраты отопительной системы для компенсации теплопотерь**, руб.	130	22500

Примечания:

\* теплопотери за отопительный сезон идентифицируются как дополнительная тепловая энергия, которую необходимо выработать для компенсации тепловых потерь через светопроёмы;

\*\* тариф на тепловую энергию 1920 руб./Гкал.

Стоит также отметить и другие плюсы использования ГОК как альтернативы типовым решениям для светопроёмов. Они не имеют прямого денежного выражения, но их роль существенна для торговой деятельности, в частности, СТЦ и может быть определяющей в психологии восприятия посетителями качества и привлекательности товаров, удобства и комфорта торговых залов, что может способствовать росту торговых оборотов СТЦ (и торговых центров вообще). Международная практика доказывает, что комфортное естественное освещение залов торговых центров увеличивает товарооборот на 40 % [15].

### Заключение

Основа концепции построения ГОК для ССО, отличающихся высокой энергоэффективностью и комфортностью создаваемой световой среды, – интеграция трёх компонентов совмещённого освещения: система передачи естественного света (базовый компонент); система со светодиодами для энергоэффективного искусственного освещения и САУ (ключевой компонент). Базовый компонент – ПТС – обеспечивает наличие естественной световой составляющей, а блок искусственного света на основе светодиодов нового поколения равноценно её дополняет. САУ благодаря непрерывному и плавному светорегулированию ГОК делает незаметной для глаз динамику функционирования компонентов ГОК.

Проведённое сравнение ССО на базе ГОК с типовыми светопроёмами верхнего естественного освещения показало лучшие свето- и теплотехнические характеристики ГОК и бесспорное преимущество их применения в качестве систем общего освещения. Это позволяет утверждать, что затраты на приобретение и установку ГОК в зданиях являются капитализацией средств, ранее направленных на оплату услуг энергоснабжения. Преимущество ССО на базе ГОК перед типовыми светопроёмами:

- соотношение площадей светопроёмов при заданном уровне освещения – 1: 52;
- соотношение мощностей кондиционирования торговых залов – 1: 158;
- соотношение тепловых потерь – 1: 170;

- дисконтированный срок окупаемости инвестиций в ГОК на фоне строительства типовых светопроёмов для СТЦ – менее 3-х лет, но с учётом экономии на приобретение климатической техники инвестиции уже окупаются на этапе проектирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анципов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С.
2. Заключение № 12113–2145/71 от 11.02.2014 ФГБУН ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН «О соответствии спектрального состава света, формируемого системой солнечного освещения – ССО (оптической световодной осветительной системой) «Solatube Daylighting Systems», спектральному составу естественного дневного освещения».
3. Acrich MJT5630D+ (от Seoul Semiconductor) со световой отдачей до 210 лм/Вт – оптимальный выбор для разработчиков осветительных приборов со светодиодами // СЭА Электроникс. URL: <http://www.searu.com/news/view3567.html> (дата обращения: 15.09.2017).
4. TRI-R Technology. Cop.2015 URL: <http://trir-pj.com/en/technology/> (дата обращения: 15.09.2017).
5. Seoul Semiconductor. «SunLike» Series LEDs. Cop. 2017. URL: <http://www.seoulsemicon.com/en/technology/Sunlike/> (дата обращения: 15.09.2017).
6. Solatube® Daylighting Systems. «Daylight Dimmer Integration Guide». Cop. 2017. URL: [http://www.solatube.com/sites/default/files/field/files/tech\\_resources/solution-center-for-integrated-lighting-applications-daylight-dimmer-integration-guide.pdf](http://www.solatube.com/sites/default/files/field/files/tech_resources/solution-center-for-integrated-lighting-applications-daylight-dimmer-integration-guide.pdf) (дата обращения: 15.09.2017).
7. СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования».
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006.– 972 с.
10. Расчёт теплопритоков в помещениях. URL: <https://www.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/raschet-teplopritokov-v-pomeshcheniya.html/> (дата обращения: 15.09.2017).
11. Постановление Правительства РФ № 857 от 27.08.2012.

12. СНиП 23–01–99\* «Строительная климатология».

13. Соловьёв А.К., Туснина О.А. Сравнительный теплотехнический расчёт систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал.– 2014.– № 2. – С. 24–35.

14. Светопрозрачная кровля от производителя. URL: <http://osteklenie.ehg.ru/alyuminievye-okonnye%20konstrukcii/svetoprozrachnaya-krovlya/> (дата обращения: 15.09.2017).

15. Heschong Mahone Group (HMG). «Skylighting and Retail Sales» / Detailed Report for Pacific Gas and Electric Company, 1999. – Fair Oaks, CA. URL: <http://www.h-m-g.com/> (дата обращения: 15.09.2017).



**Овчаров Александр Тимофеевич**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1966 г. Томский институт радиоэлектроники и электронной техники. Профессор кафедры «Архитектурное проектирование» ТГАСУ. Директор ООО «Световые системы». Действительный член МАНЭБ. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»



**Селянин Юрий Николаевич**, инженер, окончил в 1973 году Таганрогский радиотехнический институт, в 1981 году – Военную Академию им. Ф.Э.Дзержинского, в 1992 году – адъюнктуру при этой академии. Генеральный директор ООО «СОЛАР», официального представителя технологии Solatube® Daylighting Systems на территории ЕАЭС



**Анципов Ярослав Валерьевич**, магистр электроэнергетики и электротехники. Окончил в 2017 г. Томский политехнический университет (ТПУ). Инженер ООО «Световые системы».

Аспирант 1-го года обучения НИ «ТПУ»



# Лучистая теплопроводность в лёгких утепляющих материалах

Е.Ю. ШАМПАРОВ, И.Н. ЖАГРИНА, С.В. РОДЭ

РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва

E-mail: shamparov@bk.ru, jagrina@mail.ru, rode-s-v@mail.ru

## Аннотация

Приведена оценка рассеивающих и поглощающих способностей лёгких утепляющих материалов в ИК диапазоне спектра. Показана применимость к таким материалам уравнения Фурье в обобщённой форме с учётом лучистой теплопроводности среды. Проведены бесконвекционные измерения тепловых сопротивлений образцов материалов разной толщины. Надёжно подтверждены теоретические обоснования и представления о теплозащитных свойствах материалов. Получены точные значения суммарной теплопроводности материалов и оценены значения лучистой теплопроводности материалов и глубины проникновения в них теплового излучения.

**Ключевые слова:** тепловое излучение, рассеяние и поглощение в среде, закон Кирхгофа, лучистая теплопроводность, уравнение Фурье, радиационно-кондуктивный перенос тепла, тепловое сопротивление материала.

Задачи по диффузному распространению излучения в оптике встречаются сравнительно редко, и потому относятся к достаточно сложным. Тем не менее иногда их приходится решать, когда учёт диффузного излучения оказывается значимым. В связи с этим в настоящей работе речь пойдёт о распространении теплового излучения в случайно рассеивающей среде.

Как известно, есть три механизма теплопередачи – кондукция, конвекция и тепловое излучение. Последнее вносит существенный вклад в перенос тепла только в прозрачной среде, каковой в природных условиях, по сути, является только воздух. Вклад кондуктивной составляющей существенен при небольшой толщине слоя воздуха – в несколько миллиметров. При большей толщине радиационная составляющая доминирует над кондуктивной. Конвекционный вклад в значительной степени зависит от гео-

метрии передающей тепло системы и крайне сложен для анализа, так что при измерениях мы постарались сделать его несущественным.

Диффузное рассеяние происходит на случайных неоднородностях в среде. Если характерный размер неоднородностей меньше длины волны излучения, то рассеяние частотно зависимо: чем меньше длина волны, тем больше рассеяние. Именно поэтому рассеяние солнечного света на микроскопических пылинках в атмосфере в коротковолновой части спектра происходит интенсивней, и мы видим небо голубым. И наоборот, если размер неоднородностей, как у капель или снежинок в облаках, много больше длины волны излучения, интенсивность рассеяния от частоты не зависит; и, соответственно, облака мы видим белыми.

Современные лёгкие утепляющие материалы имеют в среднем практически изотропную структуру, и для теплового излучения их можно считать случайной рассеивающей средой. Есть два основных типа таких материалов – вспененные и волокнистые. И в том, и в другом случае как характерный размер пузырьков (~100 мкм), так и диаметр волокон (~20 мкм) больше длины волны излучения (~10 мкм). Для наших измерений были выбраны образцы:

- вспененного полиэтилена толщиной 2,2 мм с плотностью 16,5 кг/м<sup>3</sup>, размером пузырьков 0,1–0,3 мм и долей заполненного полиэтиленом объёма 1,74 %;

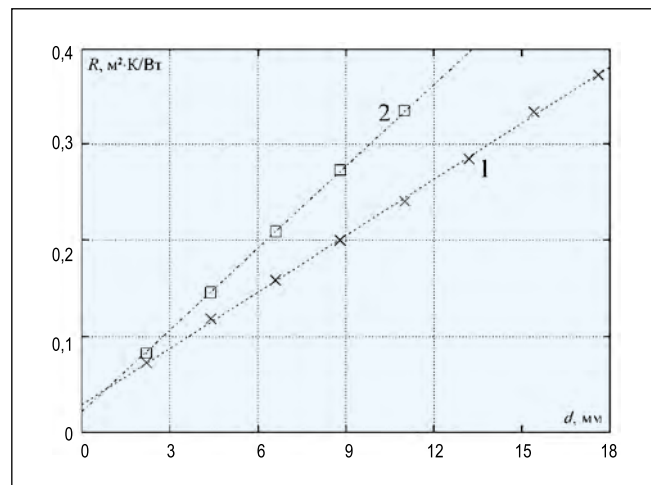
- вспененного полистирола (пенопласта) толщиной 5,0 мм с плотностью 32 кг/м<sup>3</sup>, размером пузырьков 0,05–0,15 мм и долей заполненного полистиролом объёма 2,56 %;

- выпускаемого под маркой «Холлофайбер» нетканого материала толщиной 6,0 мм с плотностью 11,7 кг/м<sup>3</sup>, выполненного из полых волокон полиэтилентерефталата (лавсана) толщиной 32 мкм и долей заполненного им объёма 0,9 %.

Так как размеры неоднородностей во всех образцах много больше длины волны, рассеяние теплового излучения в них должно быть частотно независимым.

И полиэтилен, и полистирол, и полиэтилентерефталат, хотя и имеют ряд линий поглощения, обладают в ИК диапазоне сравнительно высокой прозрачностью (средняя глубина проникновения ~1 мм) [1]. Так как у пористых материалов доля заполненного твёрдым веществом пространства равна всего 1–2 %, их эквивалентная по поглощению толщина должна составлять 5–10 см. По визуальным характеристикам пористых материалов нетрудно оценить, что рассеяние излучения происходит на «толщине» ~5 мм, много меньшей 5 см. При наличии одновременно поглощения и рассеяния глубина проникновения излучения  $a$  определяется двумя параметрами: коэффициентом рассеяния  $\nu$  и коэффициентом поглощения  $\chi$  [2]:  $a = (\nu + \chi)^{-1}$ . У выбранных материалов, очевидно,  $\nu$  много больше  $\chi$ , и, соответственно, можно считать, что  $a$  в ИК диапазо-

Рис. 1. Зависимости теплового сопротивления стоек образцов вспененного полиэтилена от толщины стойки: 1 – без фольги, 2 – для стойки, проложенной сверху, снизу и между всеми слоями зеркальной алюминиевой фольгой



не практически не зависит от длины волны и каждый из материалов можно рассматривать как диффузную среду.

Динамику лучистого распространения тепла в диффузной среде рассматривают на основании закона Кирхгофа для теплового излучения. Радиационную составляющую теплопереноса в такой среде характеризует её лучистая теплопроводность  $L$  [3]

$$L = 16 \cdot \sigma \cdot T^3 \cdot a/3, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана и  $T$  – абсолютная температура. В приближении большой оптической толщины среды на расстояниях от границ, существенно больших глубины проникновения теплового излучения, плотность потока лучистой энергии  $\Phi$  прямо пропорциональна градиенту температуры  $\nabla T$ , как в уравнении Фурье для кондуктивной теплопроводности. Поэтому при радиационно-кондуктивном переносе тепла в таких материалах должно выполняться уравнение Фурье в обобщённой форме:

$$\Phi = -(L + D)\nabla T, \quad (2)$$

где  $D$  – кондуктивная теплопроводность среды. Соответственно тепловое сопротивление слоя материала  $R$  должно быть пропорционально его толщине  $d$ :

$$R = \Delta T / \Phi = d / (L + D), \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – разность температур на краях слоя.

На разработанной нами установке для бесконвекционных измерений тепловой проницаемости [4] «в плоскопараллельной геометрии» определены были зависимости теплового сопротивления стопок образцов от числа слоёв материала (толщины), которые представлены на рис. 1–3 (зависимость № 1). Там же для демонстрации наличия лучистой теплопроводности приведены зависимости теплового сопротивления стопок тех же образцов, проложенных тонкой (10 мкм) алюминиевой фольгой, сверху и снизу стопки и между всеми слоями (зависимость № 2).

Особенность данной установки в том, что рабочие плоские элементы, между которыми создаётся разность температур, сделаны из монокристаллического кремния, прозрачного в ИК

Рис. 2. Зависимости теплового сопротивления стопок образцов вспененного полистирола от толщины стопки: 1 – без фольги, 2 – для стопки, проложенной сверху, снизу и между всеми слоями зеркальной алюминиевой фольгой

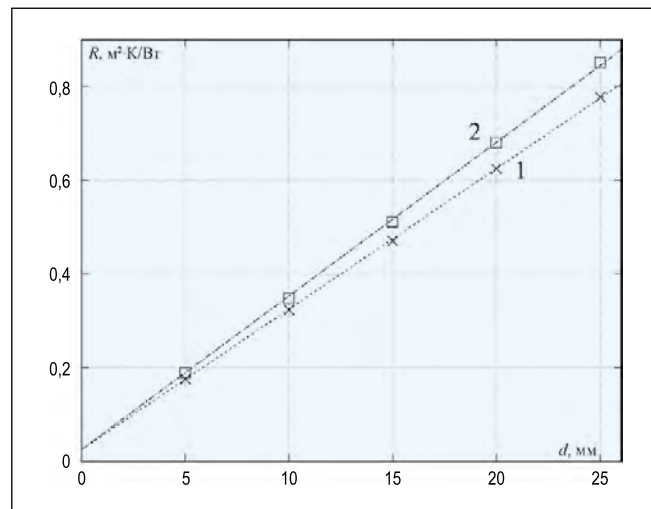
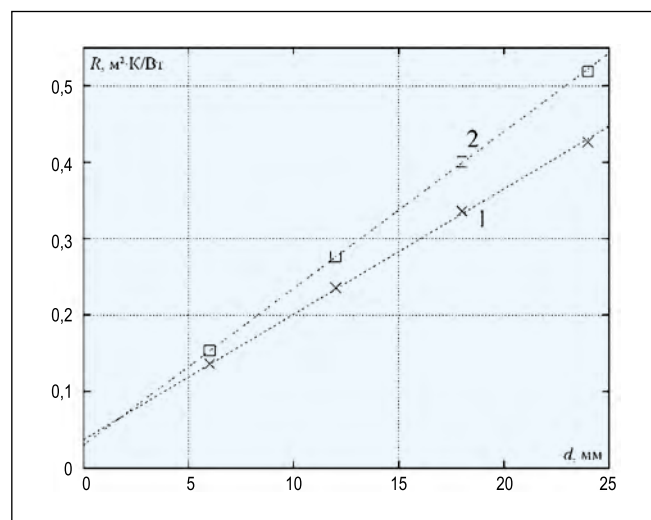


Рис. 3. Зависимости теплового сопротивления стопок образцов «Холлофайбера» от толщины стопки: 1 – без фольги, 2 – для стопки, проложенной сверху, снизу и между всеми слоями зеркальной алюминиевой фольгой



диапазоне. Это существенно ослабляет поверхностные эффекты, из-за чего влияние границ среды почти незаметно.

Тот факт, что для всех материалов зависимость теплового сопротивления от толщины среды с высокой точностью (~1 %) легла на прямую линию, с глубокой очевидностью подтверждает правильность наших представлений (3) о свойствах исследуемых материалов. Приближение лучистой теплопроводности (2) вполне применимо к такой среде. Величина, обратная коэффициенту наклона прямых, равна суммарной теплопроводности среды  $L + D$ . Соответствующие её значения для вспененных полиэтилена и полистирола и для «Холлофайбера» –  $0,0514 \pm 0,0003$ ,  $0,0333 \pm 0,0005$  и  $0,0610 \pm 0,0005$  Вт/(м·К).

Алюминиевая фольга практически полностью (на 99 %) отражает тепловое излучение. А при столь малой толщине её вклад в кондуктивный перенос тепла пренебрежимо мал.

Соответственно, результатом добавления фольги между слоями материалов должно быть уменьшение только радиационной составляющей переноса тепла. Различия зависимостей для образцов с фольгой и без фольги (рис. 1–3) показывают, что вклад радиационной составляющей сравним с вкладом кондуктивной. Как и в случае с образцами без фольги, во втором случае ставилось последовательно несколько образцов с одинаковым тепловым сопротивлением. Поэтому графики зависимости теплового сопротивления от толщины стопки с фольгой тоже явились прямыми линиями. При этом наклон графиков вырос, а «теплопроводность» снизилась. Суммарная теплопроводность материалов с фольгой составила  $0,0353 \pm 0,0003$  для вспененного полиэтилена,  $0,0305 \pm 0,0005$  для вспененного полистирола и  $0,0490 \pm 0,0005$  Вт/(м·К) для «Холлофайбера». Чем меньше расстояние между экранами из фольги, тем существенней должно быть уменьше-

ние радиационной составляющей переноса тепла. Поэтому для вспененного полиэтилена с толщиной 2,2 мм относительное изменение «теплопроводности» (31,3 %) оказалось существенно большим, чем для вспененного полистирола с толщиной 5 мм (8,4 %) и «Холлофайбера» с толщиной 6 мм (19,7 %).

Кондуктивная теплопроводность полимеров сравнительно невысока. Поэтому в исследованных материалах основную роль в кондуктивной передаче тепла играет занимающий 99 % объёма воздух, теплопроводность которого при средней температуре измерений составляет 0,0272 Вт/(м·К) [5]. Лучистые теплопроводности вспененного полиэтилена и «Холлофайбера» примерно равны кондуктивным. По формуле (1) нетрудно оценить глубину проникновения теплового излучения в эти материалы:  $a \approx 3,5$  мм. Это неплохо согласуется и с визуально наблюдаемой прозрачностью материалов, и с результатами измерений для стопок образцов с фольгой. Более плотный и мелкодисперсный вспененный полистирол существенно менее прозрачен для теплового излучения. Его лучистая теплопроводность в 3–5 раз меньше, чем у двух других материалов. И, соответственно,  $a \approx 1$  мм. Поэтому, несмотря на меньшую толщину (5 мм), чем у «Холлофайбера» (6 мм), у него (образцов с фольгой) относительное изменение «теплопроводности» (8,4 %) оказалось значительно меньшим, чем у «Холлофайбера» (19,7 %).

Таким образом, результаты наших измерений наглядно показывают роль лучистой теплопроводности в лёгких утепляющих материалах. Сформированные представления и корректные измерения позволяют достаточно точно находить характеристики теплозащитных свойств материалов. Причём делать это можно и по визуальным характеристикам материалов. В стремлении максимально облегчить утепляющие материалы, производители уже достигли уровня их изготовления, при котором вклад радиационной составляющей оказывается сравнимым с вкладом кондуктивной составляющей теплового переноса. Модификация материалов в плане уменьшения радиационной составляющей теплопроводности – важный резерв улучшения их теплозащитных свойств и важное направление развития соот-

ветствующих производств в ближайшем будущем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кристаллические полиолефины: Сборник моногр. статей / Под ред. Р.А. Раффа и К.В. Дака. Том 2. Строение и свойства. – М.: Химия, 1970.– 469 с.
2. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. – М.: Мир, 1975.– 934 с.
3. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979.– 416 с.
4. Шампаров Е.Ю., Жагрина И.Н. Установка для прецизионных бесконвекционных измерений тепловой проницаемости материалов при температурах, близких к комнатной / Полезная модель РФ № 166709. 2016. Бюл. № 34.
5. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с.



**Шампаров Евгений Юрьевич,**

кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1994 г. факультет общей и прикладной физики МФТИ. Доцент кафедры физики РГУ им. А.Н. Косыгина.

Область научных интересов: физическая оптика, материаловедение производств текстильной и лёгкой промышленности



**Жагрина Инна Николаевна,**

кандидат техн. наук, доцент. Окончила в 1993 г. факультет технологии и конструирования изделий из кожи МТИЛП. Доцент кафедры матери-

аловедения и товарной экспертизы РГУ им. А.Н. Косыгина. Область научных интересов: физическая оптика, материаловедение производств текстильной и лёгкой промышленности, управление качеством



**Родз Сергей Витальевич,**

доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1964 г. физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Заведующий кафедрой физики РГУ им. А.Н. Косыгина. Область научных ин-

тересов: физическая оптика, материаловедение производств текстильной и лёгкой промышленности

## СПб ГУП «Ленсвет» сэкономило 6,8 млн рублей бюджетных средств на приобретении отечественных аналогов импортного оборудования

Экономический эффект СПб ГУП «Ленсвет» от приобретения отечественных аналогов импортного оборудования за 2017 г. составил 6,8 млн руб. Доля отечественного оборудования, используемого в настоящее время при реконструкции и строительстве наружного освещения, составляет 100 %, при эксплуатации в 2017 году – 99,1 %. Закупаемое отечественное оборудование для наружного функционального и архитектурно-художественного освещения на 65 % является петербургским.

В 2017 г. «Ленсветом» для обеспечения импортозамещения проводилась работа по поиску патентов и разработок на основе достижений фундаментальных наук. В результате найдено и проанализировано 1463 патента (599 патентов на промышленный образец, 663 патента на полезную модель, 201 патент на изобретение). Из всех проанализированных патентов, косвенно касающихся деятельности СПб ГУП «Ленсвет», отобран для изучения возможности применения в наружном освещении Санкт-Петербурга 21 патент.

СПб ГУП «Ленсвет» продолжает также работу по взаимодействию с предприятиями, выпускающими светотехническую продукцию, и усовершенствующими её на основании рационализаторских предложений.

Не остаются без внимания тема внедрения в наружное освещение города отечественных защитных антикоррозионных, огнезащитных, антивандальных покрытий и изделий из композиционных материалов (продолжена опытная эксплуатация опор наружного освещения из композитных материалов, а также вместо металлического несущего троса тестируется синтетический композиционный трос на двух объектах Северного и Приморского эксплуатационных подразделений СПб ГУП «Ленсвет»). На прошедшем заседании сотрудники СПб ГУП «Ленсвет» ознакомились с инновационными разработками ООО «Уральский завод многогранных опор» и ООО «Техноком». Вниманию были представлены изготовленные методом горячего оцинкования металлоконструкции и подземные распределительные системы, которые могли бы применяться в наружном освещении Санкт-Петербурга.

Для «Ленсвета» остаётся актуальным вопрос замещения импортных ламп и светильников для художественного освещения на аналоги российских производителей, а так же поиск отечественных расходных материалов для текущей эксплуатации установок наружного освещения Санкт-Петербурга. По-прежнему востребованными для СПб ГУП «Ленсвет» остаётся изготовление изделий из композитных полимерных материалов: шкаф ШРУ 400, опоры освещения, несущий трос для подвесной сети и др.

lensvet.spb.ru  
02.03.2018



## Освещение палат медицинских организаций

### Впервые у нас в стране:

- разрешено применение светодиодов для освещения лечебно-диагностических помещений;
- сформулированы конкретные требования к прикроватному светильнику;
- приведены требования к новому устройству палатной сигнализации;
- сформулированы требования к освещению палат.

В статье приведены нормативные требования к искусственному освещению палат медицинских организаций.

Содержание статьи не относится к специализированным палатам «интенсивной терапии, послеоперационным, для новорождённых», электрооборудование которых предусматривается в задании на проектирование с дополнительными требованиями.

### Нормативные требования

Требования к искусственному освещению палат указаны в документах [1–4]. ГОСТ [5] применять при проектировании искусственного освещения, в том числе освещения медицинских организаций, не следует. Он выполнен на основе евростандарта [3], однако информации об этом в тексте стандарта нет, при переводе допущены технические ошибки, изменены нумерация и содержание таблиц и добавлены новые материалы, необходимость в которых отсутствует.

В Изменении [2] приведены новые нормативные требования к искусственному освещению лечебно-диагностических помещений, в том числе с применением светодиодов:

«7.7.2.1.1 Общее освещение лечебно-диагностических помещений выполняют осветительными приборами с разрядными источниками света или

светодиодами. Источники света выбираются с учётом требований к цветоразличению: с цветовой температурой равной 4000 К и индексом цветопередачи  $R_a$  не менее 80. Дополнительные критерии для выбора светильников со светодиодами следующие:

- габаритная яркость у светового прибора должна быть не более 2000 кд/м<sup>2</sup>;
- единичная мощность светодиода должна быть в пределах 0,25–0,5 Вт;
- показатель энергоэффективности светильника, в конструкцию которого входит один или несколько светодиодов, должен быть не менее 85 лм/Вт».

В Изменении [2] (примечание \* к таблице Н.1) уточнены виды освещения в палатах и уровни освещённости: «Должно быть предусмотрено общее ночное освещение 5 лк, местное освещение в консолях – для чтения 200 лк, для осмотра – 300 лк».

### Комментарий

Зарубежные производители предлагают к продаже светильники со светодиодами для лечебно-диагностических помещений, в том числе для операционных. В частности, компания *Fagerhult* информирует о выпуске прикроватных светильников со светодиодами «*Aluflex 600*» и «*Aluflex Medica*».

Материалы по освещению палат опубликованы в журнале «Светотехника»: [6–8].

В табл. 1 отмечены требования к искусственному освещению палат для взрослых, палат для детей и палат психиатрических отделений.

### Общее освещение палат

Общее освещение должно:

- создавать обстановку, улучшающую самочувствие пациентов;
- обеспечивать медицинскому персоналу осмотр и лечение пациентов.

Освещённость нормируется для горизонтальной плоскости, располагаемой на уровне пола [2]. Для пациентов, находящихся в постели, яркость светильников не должна превышать 1000 кд/м<sup>2</sup>.

### Освещение для чтения

В палатах для взрослых у каждой койки должен предусматриваться светильник для чтения.

В палатах для детей и в палатах психиатрических отделений светильники для чтения не устанавливаются.

В светильнике для чтения (консоли) изготовитель должен установить:

- источник (источники) света, направляющий световой поток для чтения в нижнюю полусферу и обеспечивающий нормируемую освещённость, или
- источник (источники) света, направляющий световой поток для чтения в нижнюю полусферу, обеспечивающий нормируемую освещённость, и источник (источники) света, направляющий световой поток в верхнюю полусферу,
- выключатель источника (источников) света, направляющего световой поток для чтения в нижнюю полусферу,
- две штепсельные розетки 220 В с защитным контактом и штор-

Таблица 1

Вид освещения палаты	Обоснование
Общее освещение	Таблица Н.1 Показатели освещённости при естественном, искусственном и совмещённом освещении помещений медицинских организаций. Приёмные и палатные отделения [2]
Освещение для чтения	Примечание * к таблице Н.1 [2]
Освещение для осмотра	
Общее ночное освещение	
Дежурное (ночное) освещение	Пункт 7.7.2.1.3 [1]

Нормативный документ	Вид освещения палаты	Освещённость $E_{экс}$ , лк	Обобщённый показатель дискомфорта UGR, не более	Индекс цветопередачи $R_a$ , не менее	Коэффициент пульсации освещённости $K_p$ , % не более
Таблица Н.1 Приёмные и палатные отделения [2]	Общее освещение. Палаты для взрослых	100 На уровне пола	19	80	15
	Общее освещение. Палаты детских отделений	150 На уровне пола	19	80	
Примечание * к таблице Н.1 [2]	Освещение для чтения в палатах для взрослых. В [3] освещённость в палатах для чтения принята равной 300 лк.	200 См. рисунок	19	80	
	Освещение для осмотра	300 на уровне 0,85 м от пола	19	80	
	Общее ночное освещение	5 на уровне пола	–	80	
Пункт 7.7.2.1.3 [1]	Дежурное (ночное) освещение	–	–	80	

**Комментарий к табл. 2**

– В евроstandarte [3] нормируется средняя освещённость  $E_{экс}$  – минимально допустимая средняя освещённость  $E_{ср}$  на заданной поверхности.

В СП [1] нормируется минимальная освещённость.

– Для определения соответствия значений показателя дискомфорта  $M$ , указанного в табл. 3, значениям требуемого показателя UGR, приведённым в табл. 2, следует пользоваться данными табл. 3, принятыми в книге [9].

Таблица 3

Показатель дискомфорта $M$	15	<b>25</b>	40	60	90
Обобщённый показатель дискомфорта UGR	14	<b>19</b>	22	25	27

**Комментарий к табл. 3**

Из данных табл. 3 следует, что значение показателя дискомфорта  $M$  (выделено в таблице) соответствует требованиям по табл. 2

В дальнейшем при корректуре СП [1] вместо показателя  $M$  следует указать показатель UGR.

ками, закрывающими контакты при вынутой вилке,

В светильник для чтения должен быть обеспечен ввод:

– групповой сети от щита рабочего освещения для питания источников света,

– групповой сети от силового щита для питания штепсельных розеток.

Выключатель источника (источников) света, направляющего световой поток в верхнюю полусферу, устанавливается в соответствии с проектом освещения вне светильника для чтения.

Расположение и размеры базовой плоскости чтения показаны на рисунке [4]. На койке пациента эта плоскость, шириной 0,9 м и высотой 0,3 м, расположена под углом 75° к го-

ризонти, на расстояниях 1,1 м от пола и 1 м от стены за головой.

Практически нормируемая освещённость должна обеспечиваться на поле чтения размером 0,3 м × 0,3 м.

Для остальных пациентов яркость в их поле зрения не должна превышать 1000 кд/м<sup>2</sup>.

**Освещение для осмотра пациента, находящегося в постели**

Для проведения осмотра пациента освещённость должна обеспечиваться по продольной оси плоскости обследования, горизонтально расположенной на высоте 0,85 м от пола (рисунок) [4].

При работе персонала свет не должен слепить пациентов.

Для обеспечения более высоких уровней освещённости при осмотре целесообразно дополнительно к общему освещению применять переносные напольные медицинские светильники.

**Общее ночное освещение**

Ночное освещение обеспечивает передвижение персонала в ночное время и уход за пациентами.

Для исключения блёскости целесообразно применять светильники отражённого света, направляющие световой поток на стены или потолок.

**Дежурное (ночное) освещение**

Этот вид освещения должен обеспечивать ориентацию пациента в ночное время.

Требования к освещению палат приведены в табл. 2.

Дополнительные требования к освещению палат приведены в табл. 4.

Пункт 7.7.2.1.6 Изменения [2] – «Степень защиты светильников общего освещения, размещаемых на потолке, должна быть не менее указанной в приложении П».

Вид освещения палаты	Установка светильников	Питание светильников	Место и высота установки выключателей
Общее освещение	<ul style="list-style-type: none"> <li>– В палатах для взрослых – на потолке.</li> <li>– В палатах небольшой площади для взрослых – на стенах устанавливаются светильники отражённого света, обеспечивающие нормируемую освещённость 100 лк на уровне пола или указанная освещённость обеспечивается источниками света, установленными в светильниках для чтения.</li> <li>– В палатах для детей, и в палатах психиатрических отделений – на потолке.</li> </ul>	От сети рабочего освещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Палата для взрослых – в коридоре (при отсутствии тамбура перед палатой) на высоте 1,5 м от пола.</li> <li>– Палата для взрослых – в тамбуре перед входом в палату на высоте 1,5 м от пола.</li> <li>– Палата для детей и палата психиатрического отделения – в коридоре у входа в палату на высоте 1,8 м от пола рядом со щитком для штепсельных розеток, установленным для этой палаты.</li> </ul>
Освещение для чтения	<ul style="list-style-type: none"> <li>– У каждой койки в палатах для взрослых.</li> <li>– Высота установки светильников от пола принимается равной 1,7 м и уточняется при выполнении проекта освещения.</li> <li>– В палатах для детей и в палатах психиатрических отделений освещение для чтения не предусматривается</li> </ul>		Устанавливается в каждом светильнике при его изготовлении
Освещение для осмотра	Применяются медицинские напольные переносные светильники		
Общее ночное освещение	<ul style="list-style-type: none"> <li>– В палатах для взрослых – светильники отражённого света, установленные на стенах между светильниками для чтения.</li> <li>– В палатах для взрослых (другой вариант) – источники света, установленные в светильниках для чтения и направляющие световой поток на стены.</li> <li>– В палатах для детей, и в палатах психиатрических отделений – на стенах на высоте не менее 2,2 м от пола устанавливаются светильники отражённого света.</li> </ul> <p>Количество светильников определяется в проекте освещения.</p>	От сети аварийного освещения.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Палата для взрослых – в коридоре при отсутствии тамбура перед входом в палату на высоте 1,5 м от пола.</li> <li>– Палата для взрослых – в тамбуре перед входом в палату на высоте 1,5 м от пола.</li> <li>– Палата для детей и палата психиатрического отделения – в коридоре у входа в палату на высоте 1,8 м от пола рядом со щитком для штепсельных розеток, установленным для этой палаты</li> </ul>
Дежурное (ночное) освещение	<p>Пункт 7.7.2.1.3 [1] – «Для дежурного (ночного) освещения палат следует применять специальные светильники, устанавливаемые в нишах около входов, как правило, на высоте 0,3 м от пола и присоединённые к сети эвакуационного освещения.</p> <p>В палатах психиатрических и детских отделений, спальнях помещениях и палатах-изоляторах для детей указанные светильники должны устанавливаться на высоте не менее 2, 2 м от пола (над дверным проёмом).</p> <p>В помещениях для детей допускается установка светильников дежурного освещения, как правило, на высоте 0,3 м от пола, при этом напряжение сети дежурного освещения должно быть не более 50 В с использованием безопасных разделительных трансформаторов»</p>		У поста медицинской сестры на высоте 1,5 м от пола



Палата	Установка штепсельных розеток
Палаты (кроме палат для детей и палат психиатрических отделений) [1]	Пункт 7.7.2.2.6 [1] – «Для подключения переносной медицинской аппаратуры в палатах (кроме палат для детей и палат психиатрических отделений) предусматриваются медицинские консоли с комплектом двухполюсных розеток». <b>Комментарий</b> Количество консолей в каждой палате определяется в задании на проектирование. В консоли устанавливаются штепсельные розетки 220 В с защитным контактом и шторками, закрывающими контакты при вынутой вилке. Высота установки от пола до низа консоли (щитка) составляет 1 м.
Палата для взрослых	В светильнике для чтения, монтируемым у каждой койки, изготовитель устанавливает одну штепсельную розетку 220 В с защитным контактом и шторками, закрывающими контакты при вынутой вилке
Палата для детей	В палате штепсельные розетки не устанавливаются. Штепсельные розетки 220 В с защитным контактом для подключения переносной медицинской аппаратуры устанавливаются в коридорах у входов в палаты по одной штепсельной розетке на койку в специальных нишах (щитках) с запирающимися дверцами. Высота установки от пола до низа щитка составляет 1,8 м
Палата в психиатрическом отделении [1]	В палате штепсельные розетки не устанавливаются. Пункт 7.7.2.2.7 [1] – «В психиатрических отделениях штепсельные розетки с заземляющим контактом для подключения переносной медицинской аппаратуры устанавливаются в коридорах у входов в палаты: по одной штепсельной розетке на койку в специальных нишах (щитках) с запирающимися дверцами». <b>Комментарий</b> Высота установки от пола до низа щитка составляет 1,8 м.

Таблица 6

Групповая сеть	Способ выполнения
Рабочее освещение: Общее освещение Освещение для чтения Освещение для осмотра	ВВГнг(А)-LSLTx – кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, пониженной пожарной опасности, не распространяющий горение по категории А, с низкой токсичностью продуктов горения или ВВГнг(А)-HFLTx – кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, не распространяющий горение по категории А, с низкой токсичностью продуктов горения. Монтаж кабелей выполнить скрыто в гофрированных гибких трубах (из поливинилхлорида) изготовления фирмы ДКС. Указанные трубы имеют пожарный сертификат, сертификат соответствия и гигиенический сертификат
Штепсельные розетки: – к консолям (щиткам), устанавливаемым в палатах, – к щитку у входа в палату для детей, – к щитку у входа в палату психиатрических отделений	
Общее ночное освещение (аварийное освещение)	ВВГнг(А)-FRLSLTx – кабель с медными жилами, огнестойкий, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката пониженной пожарной опасности, не распространяющий горение по категории А, с низкой токсичностью продуктов горения или ВВГнг(А)-FRHFLTx – кабель с медными жилами, огнестойкий, с изоляцией и оболочкой из полимерных композиций, не содержащих галогенов, не распространяющий горение по категории А, с низкой токсичностью продуктов горения. Монтаж кабелей выполнить скрыто в гофрированных гибких трубах (из поливинилхлорида) изготовления фирмы ДКС. Указанные трубы имеют пожарный сертификат, сертификат соответствия и гигиенический сертификат
Дежурное (ночное) освещение (аварийное освещение)	

**Комментарий к табл. 6**

- Для защиты групповых сетей следует применять автоматические выключатели с тепловым и электромагнитным расцепителем, устанавливаемые в соответствующих силовых и осветительных щитах здания.
- Обращается внимание на то, что аварийное освещение относится к системе противопожарной защиты здания. В сетях аварийного освещения следует применять огнестойкие кабели, огнестойкие распаечные коробки и огнестойкие конструкции для крепления кабелей [10].
- марки кабелей приняты в соответствии с таблицей 2 ГОСТ [11] и пунктом 4.1 ГОСТ [12].
- Отмечается, что безгалогенные кабели HF не выделяют коррозионно-активные газообразные продукты при горении и тлении.
- Групповая сеть выполняется однофазной трехпроводной (фазный проводник, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники) в основном сечением 3х1,5 мм<sup>2</sup> для освещения и 3 × 2,5 мм<sup>2</sup> для штепсельных розеток.
- Электробезопасность должна быть обеспечена в соответствии с ГОСТ [13].

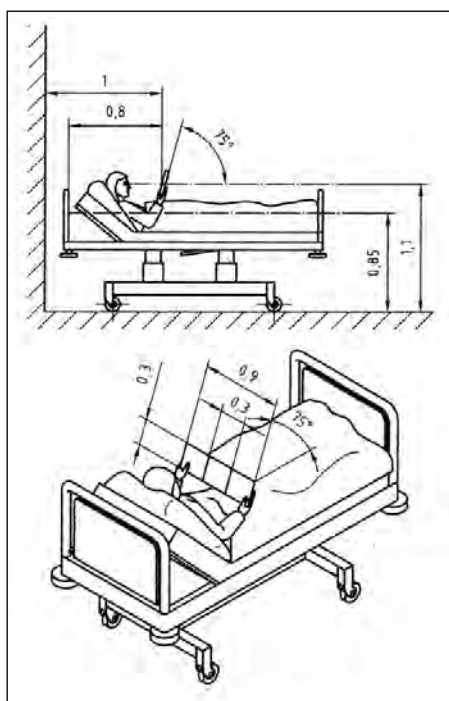


Рисунок. Освещение для чтения в кровати

Для палат, указанных выше, степень защиты оболочки светильников с замкнутым рассеивателем – IP20.

Об установке штепсельных розеток в палатах см. в табл. 5.

### Слаботочные системы. Палатная сигнализация

Пункт 7.6.8 Изменения [2] – «В палатах (кроме психиатрических отделений и ОРИТ – отделения реанимации и интенсивной терапии) у каждой койки, в припалатных уборных, душевых и санузлах, а также кабинках физиотерапевтических и бальнеологических процедур у каждого лечебного места должно быть предусмотрено сигнальное устройство с выводом звукового и светового сигналов на пост дежурного персонала. Световой сигнал должен быть продублирован над входной дверью в палату или лечебную кабину. При этом пост дежурной медсестры рекомендуется укомплектовывать пейджером для передачи сигнала от палатно-вызывной сигнализации в случае, когда медсестра находится не на посту. Состав палатной сигнализации определяется проектом и согласуется с заказчиком».

### Групповые сети и аппараты защиты

О выполнении групповых сетей в палатах см. в табл. 6.

## Заключение

Необходимо ускорить ввод в действие единых нормативов по применению освещения светодиодами в медицинских организациях.

Необходимо освоить выпуск светильника (консоли) для чтения в палате, соответствующего современным требованиям, и определить типы светильников для освещения палат.

В задании на проектирование медицинской организации, выполняемом в соответствии с пунктом 759 ГК РФ, должны указываться требования к выполнению электрооборудования, в том числе, для искусственного освещения палат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».
2. Изменение № 1 к СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».
3. EN12464-1: 2011 «Light and lighting. Lighting of workplaces. Part 1: Indoor workplaces».
4. DIN5035-3:2006 Beleuchtung mit kunstlichem Licht – Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen.
5. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
6. Роцин В.В. Рекомендации по проектированию электротехнических устройств в лечебно-профилактических учреждениях // Светотехника. – 1990. – № 7. – С. 13–18.
7. Паиковский Р.И. О проектировании осветительных и силовых электроустановок лечебно-профилактических учреждений // Светотехника. – 1991. – № 7. – С. 25–26.
8. Паиковский Р.И. О проектировании и монтаже осветительных и силовых электроустановок лечебно-профилактических учреждений // Светотехника. – 1992. – № 4. – С. 22–25.
9. Варфоломеев Л.П. Элементарная светотехника. – М.: Издательство «Световые Технологии», 2013 – С. 32.
10. Паиковский Р.И. Панель противопожарных устройств здания // Светотехника. – 2016. – № 3. – С. 76–78.
11. ГОСТ 31565–2012 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности».
12. ГОСТ 31996–2012 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ».
13. ГОСТ Р 50571.3–2009 (МЭК 60364-4-41:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током».

*Р.И. Паиковский, инженер-проектировщик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге*

## Строители протестировали освещение автодороги на Крымском мосту

На одном из участков строящейся автодороги по Крымскому мосту выполнено тестовое включение наружного освещения. Результаты измерений, проведенных службой контроля качества, подтвердили соответствие освещенности трассы проектным расчетам.

Тестовое включение было проведено на четырех пролетах Крымского моста, на участке ближе к таманскому берегу. Строители включили электричество в общей сложности на 20 мачтах освещения (по 10 с обеих сторон дороги). Работы проводились с наступлением темного времени суток и длились около трех часов.

Мачты освещения на всем протяжении моста – это металлические силовые опоры высотой 9 метров с однорожковыми кронштейнами со светильниками. Они устанавливаются на консолях пролетов моста с внешней стороны. По берегам пролива, на участках подъезда к мостовому сооружению, предусмотрены мачты с двухрожковыми кронштейнами. Они устанавливаются на разделительной полосе. Расстояние между мачтами – 36 м, что позволяет равномерно освещать дорожное полотно.

Светильники полностью защищены от воздействия морского климата. Мост будет освещаться светильниками с натриевыми лампами высокого давления с электромагнитным пускорегулирующим аппаратом. Во время эксплуатации Крымского моста наружное освещение будет работать автоматически: с приближением сумерек, при снижении естественной освещенности до 20 лк, свет будет включаться, а в утренние часы, когда естественная освещенность повысится до 10 лк, – отключаться.

Работу системы освещения при необходимости может в ручном режиме корректировать диспетчер Центральной системы управления Автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД). Диспетчер сможет и регулировать яркость освещенности дорожного полотна.

Отсюда же, из ЦУПа Крымского моста, дорожники будут управлять освещением на новых подъездных дорогах к мосту. На автоподходах по обим берегам Керченского пролива мачты освещения уже установлены. Например, на разделительной полосе и развязках новой 40-километровой дороги к Крымскому мосту со стороны Кубани, смонтированы около 1,5 тысяч таких опор под освещение.

<http://www.most.life>  
02.04.2018



# «Золотой фотон»: лучшее в индустрии

## Названы победители Евразийской светотехнической премии

Учрежденная в прошлом году Евразийская светотехническая премия «Золотой Фотон» стала главной наградой в светотехнической отрасли, призванной поощрять достижения компаний в разработке уникальной продукции, в реализации значимых проектов, а также отмечать заслуги талантливых предпринимателей, успешных топ-менеджеров, развивающих светотехническую отрасль стран Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС)

За последние годы в нашей стране появились десятки, если не сотни премий в самых различных отраслях и видах деятельности. Относиться к такой тенденции можно по-разному, но нельзя не отметить, что светотехническая отрасль в последнее время развивается и изменяется более быстрыми темпами, чем большинство других направлений техники, поэтому появление такой награды можно считать вполне закономерным.

Евразийская светотехническая премия «Золотой Фотон» вручается лучшим компаниям, работающим в светотехнической отрасли стран ЕврАзЭС и ориентированным на создание инновационной и энергоэффективной светотехнической продукции, нацеленным на максимальное удовлетворение потребностей конечных потребителей, устанавливающим высокие стандарты качества продукции и имеющим большой потенциал роста на рынке стран ЕврАзЭС и глобальном рынках.

Премия «Золотой Фотон» учреждена в 2017 году независимой отраслевой консалтинговой компанией «Лайтинг Бизнес Консалтинг». В состав оргкомитета премии вошли представители федеральных органов власти и отраслевых ассоциаций.

**Оргкомитет премии:** Владимир Габриелян, президент «Лайтинг Бизнес Консалтинг», председатель оргкомитета; Сергей Боровков, генеральный директор «Лайтинг Бизнес Консалтинг»; Дмитрий Мельников, Минэнерго России; Евгений Долин, генеральный директор Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС); Сергей Гвоздев-Карелин, исполнительный директор ассоциации «Честная Позиция»; Ирина Булгакова, генеральный директор Ассоциации энергосервисных компаний (РАЭСКО); Анна Шахпарунянц, генеральный директор Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института им. Вавилова; Ойген Алмес, генеральный директор, Messe Frankfurt Rus.

Жюри премии представлено тремя комитетами и состоит из ведущих экспертов отрасли, представителей



конечных заказчиков, журналистов, архитекторов, светодизайнеров, иностранных экспертов и консультантов.

Членами жюри стали:

**Комитет по проектам:** Михаил Иванов, независимый эксперт по городским проектам освещения в КБ Стрелка; Анастасия Приходько, член союза дизайнеров Москвы, доцент каф. «Архитектурная физика» Московского архитектурного института; Сергей Сизый, основатель и руководитель школы и студии LiDS; Владимир Будаков, профессор, главный редактор журнала «Светотехника»; Ирина Цветкова, член союза дизайнеров России, главный специалист ГБУ «ГлавАПУ» Москомархитектуры; Елена Кашевская, замначальника Управления научных исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства Министерства транспорта Российской Федерации.

**Комитет по продуктам:** Александр Богданов, к.т.н., ведущий эксперт по нормативно-техническому регулированию ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», член Правления АПСС; Юрий Трофимов, директор Республиканского научно-производственного унитарного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»; Иван Невмержицкий, руководитель сектора испытаний осветительных приборов в ТОО «Физико-технический институт», Казахстан; Алексей Иньшаков, руководитель центра светодиодных технологий АО «НИИАС»; Анатолий Черняк, заведующий лабораторией «Наружное освещение. Мобильная светотехническая лаборатория»; Олег Грицай, генеральный директор ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина».

**Комитет по бизнес-достижениям:** Ольга Рубан, бизнес-аналитик и публицист; Елена Сябренько, региональный директор подразделения «Медицинские системы» компании Olympus; Шамхал Ильдаров, президент Ас-





социации текстильщиков России, Ваагн Манукян, визионер и CEO Lifeaddwise; Александр Готовский, к.т.н., замдиректора Департамента промышленной политики Евразийской экономической комиссии; Андрей Онучин, партнёр и руководитель практики «Социология бизнеса» компании «ЭКОПСИ Консалтинг».

Заявки на конкурс принимались к рассмотрению вместе с протоколами испытаний, выданные независимыми испытательными лабораториями: ВНИСИ, НТЦ «Фотометрия», НИИИС им. Лодыгина, Александровский испытательный центр ЦСОТ НАН Беларуси.

Часть нагрузки взяли на себя и сами участники рынка: оказав доверие инициативе отраслевой премии, 33

компании подготовили более 100 заявок. В составе трёх комитетов жюри рассмотрело заявки в 30 номинациях.

Статус лауреата премии означает, что продукт, представленный на конкурс, соответствует заявленным техническим характеристикам, выполняет все обязательные для рынка ЕвразЭС требования, в случае проекта – он должен быть выполнен на высоком уровне качества, а сама компания-лауреат является надёжным поставщиком и партнёром на рынке светотехнической продукции.

Первый сезон Евразийской светотехнической премии «Золотой Фотон» завершён – на торжественной церемонии в Москве 16 февраля были объявлены и награждены победители и лауреаты премии.

## Победители Евразийской светотехнической премии «Золотой Фотон» за 2018 год

### Категория «Бизнес-достижения»

**Критерии оценки:** доля новых продуктов в ассортименте, вовлеченность персонала компании, опрос дистрибьюторов.

#### «Производитель/поставщик года»

- ООО МГК «Световые Технологии»

#### «Прорыв года»

**Критерии оценки:** достижения компаний-номинантов в новой для себя области (цели проекта, задачи проекта, бюджет, сроки реализации, полученный результат).

- МСК «БЛ ГРУПП» «Выпуск светильника «Победа» для возвращения в эконом-сегмент рынка»

### Категория «Проект года»

**Оцениваемые параметры:** оригинальность и функциональность проекта, качество освещения, использование систем управления.

#### Промышленное освещение:

- ООО МГК «Световые Технологии», «Русский Свет», «Деус»: «Системы управления освещением на базе систем видеонаблюдения. Освещение складского комплекса».

#### Торговое освещение:

- «Точка опоры» «Освещение торгово-развлекательного центра «Океания».
- Специальный приз жюри «За соответствие проектного решения и реализации» компания «NLT» «Освещение ЦУМ Дисконт ТЦ Columbus».

Архитектурное освещение, подноминация «Наружное освещение»

- «IntiLED» «Архитектурно-художественное освещение ТРЦ Хорошо!».

#### Улично-дорожное освещение

- МСК «БЛ ГРУПП», «Освещение Садового кольца, г. Москва».

### Категория «Продукт года»

**Оцениваемые параметры:** световой поток, световая отдача, коррелированная цветовая температура, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсации светового потока, коэффициент мощности, габаритная яркость в зоне ограничения яр-

кости, неравномерность яркости, защитный угол, возможность управления (диммирования или изменения цветовой температуры).

#### «Светодиодная панель, встраиваемая в потолок, типа «Армстронг»

- GALAD Юниор 600 LED-35ПМ4000.

«Светодиодный светильник для помещений с особыми условиями эксплуатации», подноминация «Для административных помещений»

- ООО МГК «Световые Технологии» SLICK.PRS ECO LED.

«Светодиодный светильник для промышленных предприятий с большой/малой высотой подвеса (high-bay/low-bay)»

- CSVT AURAHB-A-200W.

«Улично-дорожный консольный», подноминация «100–249 Вт»

- Ledel Superstreet 340 (200 Вт).

«Улично-дорожный консольный», подноминация «250 Вт и более»

- Фокус УСС 240 Эксперт S Ш1–1 (250 Вт).

#### «Светодиодный прожектор», подноминация «Мощный прожектор»

Особое решение жюри, 2 победителя:

- Амира МА(п) 600
- Led Effect LE-СБУ-32-900-1329-67X

#### «Светодиодный линейный светильник для общего освещения»

ООО МГК «Световые Технологии» REFLECT LED1000 CH CF.

В светотехнической отрасли есть прекрасные примеры качественной и инновационной продукции, технологичных решений, современных производств и достойных компаний-партнёров. Хочется надеяться, что премия способствовала и укреплению контактов и добрых партнёрских, конструктивных отношений внутри рынка.

Подготовил Евгений Серый,  
журнал «Светотехника»



## Воспоминания (к 100-летию со дня рождения профессора В.В. Трембача)

Большой и важный отрезок моей творческой жизни был связан с Владимиром Викторовичем Трембачём. Это и студенческие годы, когда он читал курс теории и расчёта световых приборов (СП) и был научным руководителем моей дипломной работы, и годы учёбы в аспирантуре на кафедре светотехники МЭИ, когда он в течение почти четырёх лет был руководителем моей кандидатской диссертации.

Основная заслуга Владимира Викторовича в развитии методов расчёта СП связана с применением метода элементарных отображений для самого широкого класса СП – светильников [1]. Он явился, по существу, продолжателем направления, начатого ещё известным русским электротехником Владимиром Николаевичем Чиколевым [2] и развитого американским учёным Ф. Бенфордом [3] и особенно профессором МЭИ Николаем Алексеевичем Карякиным [4] применительно к СП проекторного класса.

Важно отметить, что уровень методологии расчётов СП на тот период в СССР имел мировой приоритет, что отмечено в ряде зарубежных публикаций, например, [5, 6], где помимо приведённых выше упомянуты также имена Болдырева Н.Г., Комиссарова В.Д., Ауслендера Н.Н., Ермолинского Н.Н. и других, включая автора этих строк.

Следует отметить, что в период 50–70-х годов кафедра светотехники МЭИ была подлинной школой подготовки специалистов-светотехников и, в частности, светотехников-«прибористов». И большая заслуга в этом принадлежит профессору Трембачу.

К этому времени выявились и проблемы дальнейшего развития используемых методов расчёта, и главная из них – огромная трудоёмкость проведения расчётов, основанных на кропотливых ручных расчётах и графических построениях.

Отмечу, что Владимир Викторович был страстным проводником всего нового в теории и практике, стимулируя новые научные разработки на

кафедре светотехники, в частности, применение ЭВМ для расчётов СП. Он возглавлял новые направления в ряде научных дисциплин, введённых позже на кафедре, например, раздел ИК техники.

Владимир Викторович ясно видел необходимость перехода от графики к аналитически-программной форме, что, с одной стороны, назрело в связи с началом широкого применения СП с габаритными газоразрядными ИС, в частности, ДРЛ и МГЛ, а с другой, вполне могло быть реализуемо в свете появления и развития ЭВМ.

Надо сказать, что в 60-е годы применение ЭВМ выглядело скорее как экзотика. Однако Владимир Викторович сразу разглядел в ЭВМ не просто подсобное устройство, сокращающее время расчёта, а необходимое интеллектуальное средство в постановке задачи расчёта и поисках оптимального варианта.

В то же время он вполне понимал трудности перехода от визуализации и графически наглядных приёмов расчёта к аналитической форме представления метода решения и, в частности, формулирования метода в аналитической форме. Это казалось как прямой, так и обратной задач расчёта.

Решению этой задачи были посвящены не только мой дипломный проект и кандидатская диссертация [7], но многие работы в последующие годы.

Вспоминается время выполнения под руководством Владимира Викторовича моего дипломного проекта, посвящённого совершенствованию методов численной реализации расчётов СП. Это было начало века всеобщей компьютеризации, прежде всего это касалось технических трудоёмких проектов, в частности, расчётов СП. На кафедре не было в то время собственной ЭВМ, и я ходил с колодой перфокарт по записи на один час в вычислительный центр МЭИ.

К периоду моего обучения на кафедре светотехники была подготовлена наша совместная с Владимиром

Викторовичем статья, посвящённая расчёту СП на ЭВМ, где был сформулирован «машинный подход» к решению задачи синтеза отражателя с протяжённым ИС [8].

Также в работе [9], инициированной профессором Трембачём, впервые сформулирован в численном виде синтез отражателя по заданной КСС (при ИС протяжённой формы). Я горжусь тем, что мои разработки по части методик расчёта СП вошли в вузовский учебник Владимира Викторовича [10], переизданный в 1990 г. [11].

Отметим, что за рубежом подобные публикации появились значительно позже, при этом во всех публикациях рассматривались методы решения прямой задачи, когда форма отражателя считалась заранее известной (в частности – параболоид).

С большой благодарностью Владимиру Викторовичу вспоминаю годы аспирантуры и подготовки кандидатской диссертации, которые не были для меня и моей в то время создавшейся семьи материально обеспеченными. Владимир Викторович чутко и внимательно относился к моим трудностям. Специально чтобы помочь мне, он заключал договоры на расчёт и проектирование СП с заинтересованными организациями, к примеру, с электроламповым заводом им. Яблочкова.

Отмечу также глубокую порядочность и принципиальность Владимира Викторовича во всех научных вопросах и взаимоотношениях с коллегами и студентами.

Научная традиция, воспитываемая в течение десятков лет на кафедре МЭИ, дала свои плоды. Моя работа, начатая в МЭИ по СП под руководством Владимира Викторовича, нашла отражение в монографии [12], ссылка на которую приведена в фундаментальном светотехническом справочнике Северо-Американского светотехнического общества IESNA [13].

В заключение хотелось бы отметить, что после почти 50 лет настоящим прорывом явилось решение обратной задачи для СП с зеркальной оптикой и ИС конечных размеров. Найдены дифференциальные уравнения, определяющие форму поверхности отражателя по заданной КСС для ИС с произвольной характеристикой яркости [14].



## Глобальное исследование *Philips Lighting* показало, что люди недостаточно заботятся о здоровье своих глаз

Полученные уравнения зеркальной оптики могут найти применение в самых различных областях техники, где используются СП, создающие заранее заданное распределение освещённости (облучённости) на поверхности и в пространстве, в том числе, в проектировании зеркальных антенн, оптике, акустике, моделировании гелиоустановок, инфракрасных облучателей и т.д.

Мы видим как саженцы, посаженные на ниве науки и заботливо опекаемые мудрыми учителями, среди которых видное место занимает Владимир Викторович Трёмбач, выросли в могучее дерево с роскошной кроной. Плоды этого дерева могут быть полезны для всех, кто не довольствуется скороспелыми результатами, а ищет и ценит наилучшие интеллектуальные решения!

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трёмбач В.В. Светильники (теория и расчёт). ГЭИ М.-Л.: 1958
2. Чиколев В.Н. Осветительная способность прожекторов электрического света, ч. 1, СПб, 1892
3. Ф. Бенфорд. Теория прожектора. ОНТИ. – М.-Л.Д., 1935
4. Карякин Н.А. Прожекторы (теория и расчёт).-ГЭИ, М.,1944.
5. V. Weis. Berechnung von Spiegelreflektoren // Optik 50 (1978) No.5, 371–390.
6. V. Weis. Industrie-beleuchtung. Pflaum, 2000.
7. Куц О.К. Аналитические методы расчёта зеркальных симметричных светильников. Автореф.дис. канд. техн. наук. М., 1969–17 с.
8. Трёмбач В.В., Куц О.К. Численные методы автоматического заполнения заданной КСС при расчёте зеркальных светильников на ЭВМ. // Светотехника.-1963.-N12.-с. 8–13.
9. Куц О. К. Аналитические методы расчёта коэффициента заполнения // Светотехника. –1967.-N12.-с. 10–13.
10. Трёмбач В.В. Световые приборы. М.: Высшая школа, 1972, 496 с.
11. Трёмбач В.В. Световые приборы. М.: Высшая школа, 1990, 463с.
12. Kusch O. Computer-aided optical design of illuminating and irradiating devices, «ASLAN», Moscow, 1993.
13. The IESNA Lighting Handbook, 9-th Ed.p.7–43.
14. Коробко А.А., Куц О.К. Принципы расчёта профиля зеркального цилиндрического отражателя по заданной кривой силы света//Светотехника. 1997. № 4. С. 23–29.

**О.К. Куц**  
доктор техн. наук

*Philips Lighting* представила результаты исследования, согласно которым люди во всём мире не уделяют должного внимания заботе о здоровье глаз. Это происходит на фоне рекордного уровня близорукости – ВОЗ прогнозирует, что к 2050 году у каждого второго человека будет миопия, а из-за компьютеров и гаджетов нагрузка на зрение только увеличится. Несмотря на то, что в повседневной жизни люди постоянно полагаются на зрение, массовое увлечение фитнесом и похудением вытеснило заботу о здоровье глаз на второй план.

Учёные *Philips Lighting* решили выяснить, как качественное LED освещение может обеспечить глазам больший комфорт, и провели исследование с более чем 8000 участниками из 11 стран: Китая, Чехии, Франции, Германии, Индонезии, Польши, Испании, Швеции, Таиланда, Турции и США. Результаты показали, что в среднем человек более шести часов в день находится перед экранами телевизора или компьютера и часто сталкивается с напряжением глаз, при этом только 42 % опрошенных используют щадящее освещение. Аналогичным образом, только треть (32 %) людей во всём мире, покупая осветительные приборы, учитывает, насколько свет комфортен для их зрения. Исследование также продемонстрировало, что люди не отдают заботе о глазах приоритет в вопросах здоровья и общего самочувствия. Сейчас большинство во всём мире (68 %) считает вес и физическую форму (57 %) основными индикаторами здоровья, при этом только треть (34 %) оценивает зрение как показатель общего самочув-

ствия. Кроме того, лишь половина опрошенных указали, что забота о зрении является для них одним трёх приоритетных направлений в области личного ухода, а 57 % не посещают офтальмолога на регулярной основе. К тому же, только два человека из пяти (40 %) выбирают освещение, обеспечивающее здоровье глаз.

«Людям необходимо рассказывать о важности заботы о зрении. Чтобы увеличить осведомлённость в этом вопросе и обеспечить доступ к высококачественному уходу за глазами, Международный совет офтальмологии разработал ряд пособий и других инструментов, направленных на сохранение и восстановление зрения людей во всём мире», – рассказал президент Международного совета офтальмологии профессор Хью Тейлор.

Когда дело касается освещения и здоровья глаз, люди часто относятся к этому несерьёзно: 74 % опрошенных согласны с тем, что качество освещения влияет на зрение, но только 28 % выбрали бы лампу, которая комфортнее для их глаз, несмотря на стоимость. При этом 66 % людей сообщили, что гипотетически могут потратить больше на лампочку с доказанной пользой для зрения, и только 42 % уже активно выбирают освещение, которое мягче для их глаз.

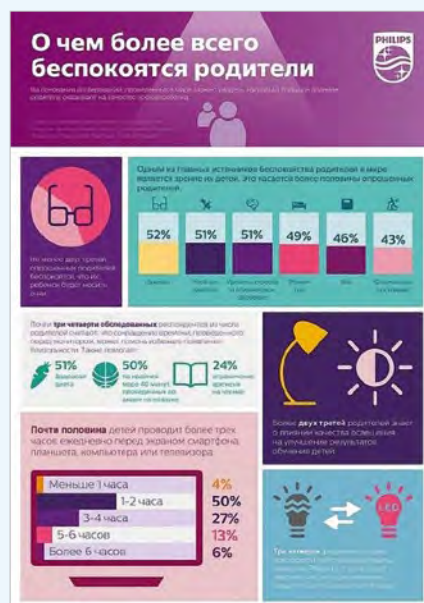
«Качественное освещение связано не только с долговечностью ламп – очень важно, чтобы наши глаза не напрягались и чувствовали себя комфортно», – объясняет Ровена Ли, старший вице-президент по *BG LED* в *Philips Lighting*. – Нужно, чтобы люди выбирали высококачественные лампы, которые не мерцают. Это особенно важно для команды наших учёных, неустанно работающих над созданием качественных и самых высокотехнологичных в отрасли ламп, свет которых очень нравится покупателям и обеспечивает комфорт для их глаз».

*Philips Lighting* разработала специальные тесты для оценки мерцания. С ними лампы Philips проходят тщательную проверку, чтобы обеспечить высокий уровень комфорта и энергоэффективности со средней продолжительностью работы более десяти лет.

### Об исследовании

Исследование было проведено в июле 2017 года, в опросе приняли участие более 8000 людей из одиннадцати разных стран: Китая, Чехии, Франции, Германии, Индонезии, Польши, Испании, Швеции, Таиланда, Турции и США. Опросы проводились онлайн.

<http://www.svetozone.ru>  
15.02.2018





# ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

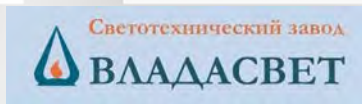
Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества



Холдинг BL GROUP



FAGERHULT



Наши преимущества:

- Широкий ассортимент
- Сертифицированная продукция
- Изготовление кронштейнов по индивидуальному техническому заданию или эскизу

**Качество**  
**Надежность**  
**Оперативность**



Россия, г. Москва,  
проспект Мира, д. 106



[opora-e.com](http://opora-e.com)



(495) 785-37-40





## «LUGA Line High Brightness» – высокий световой поток и компактность

Компания «Vossloh - Schwabe» представляет светодиодные модули серии «LUGA Line High Brightness», предназначенные для освещения торговых и производственных помещений и использования в светильниках местного освещения (Downlight).

Линейные COB модули, обладая небольшим размером (Д x Ш) - 280 x 15мм, обеспечивают световой поток до 7285 лм ( $I_{\text{раб.}} = 1,4 \text{ A}$ ).

Светодиодный модуль собран на керамической плате с контактными зажимами (Wago).

### Технические характеристики:

- рабочий ток: 350, 500, 700, 1050, 1400 мА;
- точность передачи цвета: 3-шаговый эллипс МакАдама;
- индекс цветопередачи Ra: или > 80, или > 90;
- требуется блок питания со стабилизацией тока.

Более подробная информация на: [www.vossloh-schwabe.com](http://www.vossloh-schwabe.com)

### БОЛЬШОЙ СРОК СЛУЖБЫ:

до 100000 ч

### ВЫСОКАЯ СВЕТОВАЯ ОТДАЧА:

до 178 лм/Вт при  $t_p = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

### ШИРОКИЙ ДИАПАЗОН ЗНАЧЕНИЙ КОРРЕЛИРОВАННОЙ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ.

