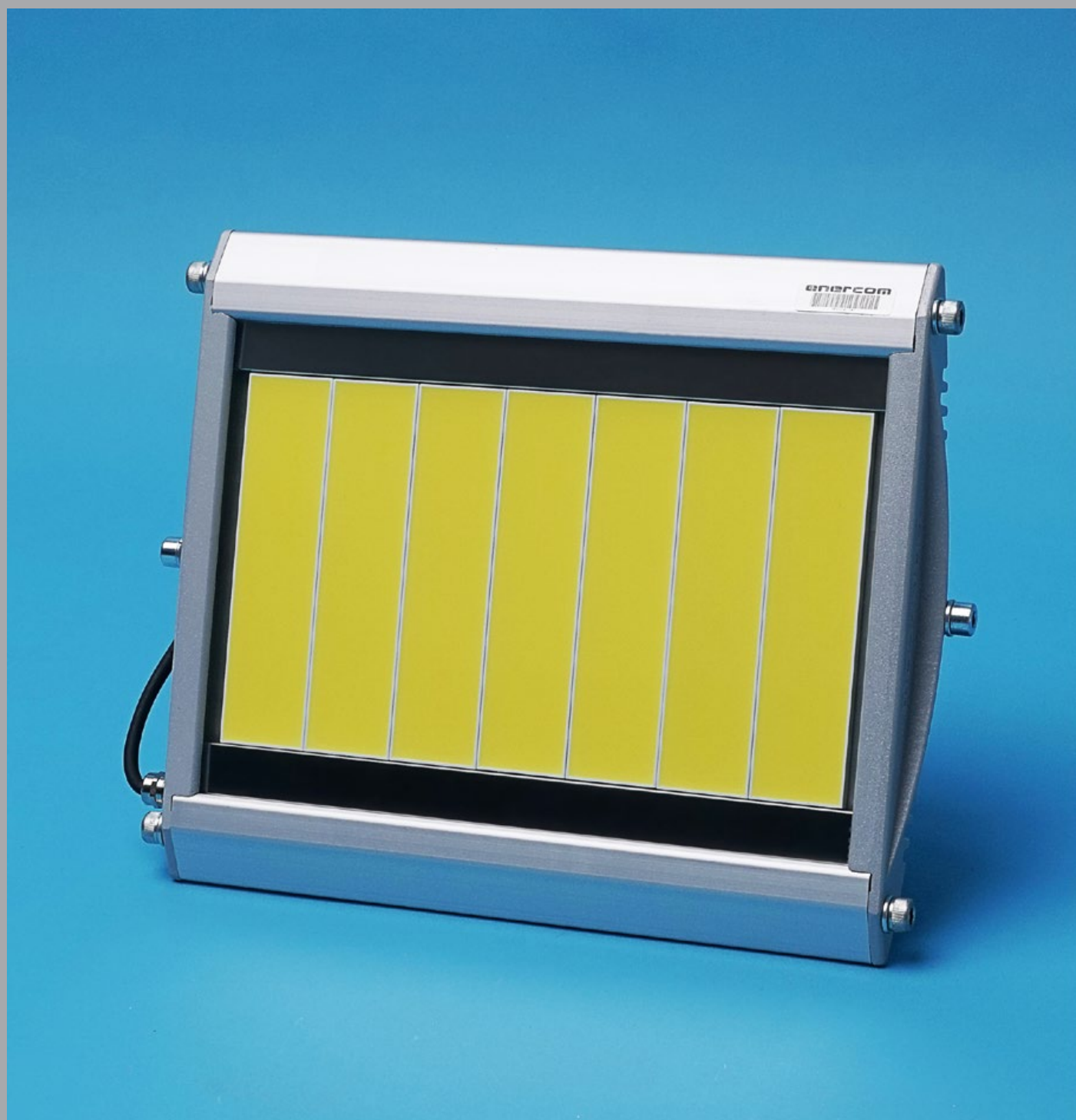


# СВЕТО 4·2016 ТЕХНИКА

СВЕТОТЕХНИКА 4 · 2016



Комплексное предложение  
для реконструкции освещения

# АЗС

GALAD АЗС LED-80

Освещение топливораздаточных  
колонок



GALAD ДВО06-40-003

Светильник внутреннего  
освещения в АБК



GALAD Победа LED-100

Светильник для освещения  
территории АЗС



GALAD Omega LED-120

Светильник для освещения  
«разгонной полосы»



Поставка светильников – не более **30 дней**

Бюджет реконструкции **280 000 рублей**

Срок окупаемости проекта **менее 2-х лет**

**Бесплатное тестирование**

Количество светильников для тестирования определяет Заказчик



# СПОРТМАСТЕР

МЫТИЩИ,  
ЯРОСЛАВСКОЕ Ш., 103



**Витрины - это «лицо» магазина, поэтому их освещению уделяется особенное внимание. Во многом именно от них зависит, заметит покупатель магазин или пройдёт мимо.**

Компания «Спортмастер» является лидером не только российского, но и европейского розничного рынка спортивных товаров. Более 450 магазинов в 200 городах. В каждом магазине есть либо уличные, либо внутренние большие витрины. Большинство из них подсвечены трековыми прожекторами с металлогалогенной лампой со всеми недостатками, которые им присущи. Это и небольшой срок службы лампы по сравнению со светодиодами, и высокое энергопотребление, и неравномерность освещения витрины.

Компания Vossloh-Schwabe разработала специальную асимметричную оптику для освещения вертикальных поверхностей. Объединив её со светодиодными модулями серии SMD Kit и драйверами на 350/500/700 мА, компания «СмартЛампс» выпустила линейный светильник ALU-MAXi ASYM, который был применён в проекте по освещению витрин гипермаркета «Спортмастер».

Для подсветки больших витрин высотой 6 м использовались светильники повышенной яркости длиной 1,68 м, мощностью 130 Вт, со световым потоком 16700 лм, а для витрин высотой 4 м – длиной 1,68 м, мощностью 65 Вт, со световым потоком 8900 лм.

В светильниках использованы:

- блоки питания 186443 ECXe 700.147
- модули 555319 WU-M-481-840
- модули 557726 WU-M-481-HB-840
- оптика Retail ASYM 555439

#### Характеристики светодиодного светильника

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

Производитель светильников:



**Компания «Смарт Лампс» (ООО)**

Ярославское ш., вл.3 | (495) 668-0670  
info@smartlamps.ru | www.smartlamps.ru

**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:****Ю.Б. Айзенберг**, шеф-редактор, д.т.н.,

проф., академик АЭН РФ

**Р.И. Столяревская**, зам. главного редактора, д.т.н.**Г.В. Боос**, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва**С.Г. Ашурков**, к.т.н., Москва**В.Е. Бугров**, д.т.н., проф., Университет ИТМО, С.-Петербург**В.П. Будак**, д.т.н., проф., НИУ «МЭИ», Москва**Н.В. Быстрянцева**, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва**А.А. Коробко**, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва**А.Т. Овчаров**, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск**Л.Б. Прикупец**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

**В.М. Пятигорский**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

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

Москва

**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ,

С.-Петербург

**А.Г. Шахпаруниязц**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

**Н.И. Щепетков**, д. арх., МАРХИ (ГА), Москва**129626, Москва, проспект Мира,****106, ВНИСИ, оф. 327**

Тел. 7(495)682-26-54

7(499)706-80-65

Тел./факс: 7(495)682-58-46

E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Интернет: www.sveto-tekhnika.ru

Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии

**Р.И. Столяревская**

lights-nr@inbox.ru

Старший научный редактор

**Е.И. Розовский**

lamptech@mail.ru

Научный редактор

**С.Г. Ашурков**

svetlo-nr@yandex.ru

Зав. редакцией

**Л.В. Шелатуркина**

zav.red@list.ru

Менеджер-референт

**М.И. Титаренко**

zav.red@list.ru

Администратор сайта

**Е.М. Новикова**

Стилист английской версии

**М.Д. Виноградова**

Секретарь редакции

**А.В. Лукина**

journal.svetotekhnika@mail.ru

Дизайнер-верстальщик

**А.М. Богданов**

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

За содержание и редакцию информационных материалов

ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 22.07.2016

Подписано в печать 19.08.16

Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00

Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Агентство Море»

101998, Москва, Хохловский пер., д. 9

# СОДЕРЖАНИЕ

## В НОМЕРЕ

### ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

ООО «Производственное объединение «ЭНЕРКОМ» 4

**Барцев А.А., Пятигорский В.М., Столяревская Р.И., Шаракшанэ А.С.**  
Исследования спада светового потока светодиодных  
светильников «ЭНЕРКОМ» 5**Новаковский Л.Г.**. Проблемы освещения храмов и их решения 11**Вазифехдан Дж., Махдавиньяд М. Дж., Никюдел Ф.** Здания ночью:  
взаимосвязь наружного освещения и зрительной привлекательности 20**Анисимов В.И., Будак В.П., Жуков В.В., Калошин Г.А.,  
Шишкин С.А.** Дальность видимости светодиодных сигнальных огней 28**Максимайнен М., Пуолакка М., Тетри Э., Халонен Л.** О влиянии  
положения наблюдателя на результаты фотометрических измерений  
в условиях сумеречного зрения 33**Кузьмин В.Н., Николаев С.Е.** Методы и приборы для оперативной  
оценки энергоэффективности оптического излучения  
в условиях светотехники 41**Байрам Г., Казанасмаз Т.** Оптимизация солнцезащитных устройств  
и повышение энергоэффективности искусственного освещения  
учебного здания 44**Малов И.А.** Тенеобразование 53**Диденко А.Н., Прокопенко А.В.** Источники света на основе  
СВЧ-разряда малой мощности 55**Бакши Б.Г., Дутта А., Рой Б.** Независимая от мощности модель КЛЛ  
с выносным электромагнитным ПРА, основанная на динамической  
проводимости 59

### ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

**Лесман Е.А.** По статье Нилова Е.Е. и Степанова В.Н. «Дизайн освещения:  
трудности перевода и критерии оценки» // Светотехника. –  
2016. – № 2. – С. 62–65 67

### СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

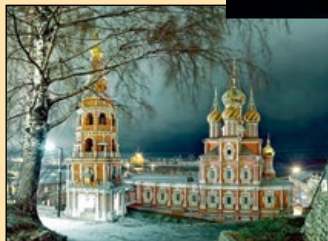
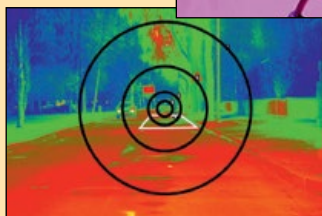
**Пашковский Р.И.** Искусственное освещение медицинских учреждений 70



# 4 • 2016

## ИЮЛЬ • АВГУСТ

# СВЕТО ТЕХНИКА



### ХРОНИКА

«БЛ ГРУПП» и Министерство инфраструктуры Ирана договорились о сотрудничестве **32**

«БЛ ГРУПП» провёл переговоры с индийским министром **32**

Защита диссертации **58**

Дорога нового поколения **71**

Выставка «ИЗОБРЕТАТЕЛИ» **79**

Поздравляем

Л.П. Варфоломеева – 80 лет **68**

Т.Л. Флодину – 80 лет **71**

К.А. Томского – 70 лет **72**

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лаборатория «АРХИЛАЙТ» **76**

Правила оформления рукописей **18**

«*Interlight Moscow powered by light+buildings*» (анонс) **74**

«*LED FORUM 2016*»: Освещение общественных пространств (анонс) **75**

**Линейный** светильник «*ALU-MAXi ASYM*» – в проекте по освещению витрин гипермаркета «Спортмастер» (*Vossloh Schwabe*) **1**

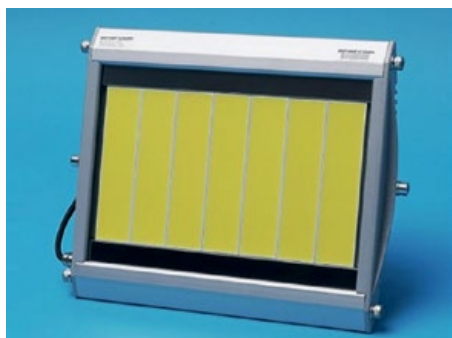
**Комплексное** предложение для реконструкции освещения АЗС (*GALAD*) **2 с. обл.**

**Освещение** образовательных учреждений (*GALAD*) **3 с. обл.**

**Оптика** любой формы для формирования идеального освещения (*Vossloh Schwabe*) **4 с. обл.**

# Партнёры журнала

ООО «Производственное объединение «ЭНЕРКОМ», входящее в группу компаний *Energcom*, является резидентом особой экономической зоны производственно-промышленного типа «Липецк» и, с 2013 года, активным партнёром журнала «Светотехника».



СД светильник серии NR-FLW

Компания *Energcom* была создана в 2009 году. Её главной целью стало создание и оснащение лидеров энергосбережения в России и на международных рынках. Специализация *Energcom* направлена на создание и внедрение наиболее оптимальных конфигураций систем освещения с учётом стоимости владения, требуемого срока службы и особенностей сферы применения.

Основное направление деятельности компании – производство энергосберегающего оборудования для промышленных предприятий, ритейла и уличного освещения с внедрением передовых научных разработок. *Energcom* сотрудничает с партнёрами и поставщиками мирового уровня, которые обеспечивают лучшие из возможных на рынке решения.

*Energcom* имеет собственные службы проектирования и монтажа, работающие в тесной связке. Это позволяет максимально полно обследовать каждый объект, делать точный расчёт, учитывающий

все нюансы, и предлагать заказчику оптимальное решение, «заточенное» под конкретный бизнес.

На текущий момент компания *Energcom* уже реализовала более 200 успешных энергосберегающих проектов для заказчиков из разных сфер бизнеса, среди которых преобладают крупные российские и европейские компании.

**Одним из крупнейших заказчиков *Energcom* стала компания «Балтика» (CarlsbergGroup), где силами компании была проведена полная модернизация систем освещения шести пивоваренных заводов в Воронеже, Туле, Ярославле, Санкт-Петербурге, Ростове и Самаре.**

Среди основных результатов проведённой модернизации можно выделить следующее: уровень освещённости увеличен на 30%, и теперь соответствует всем нормативам; расходы на освещение по всем заводам снижены в среднем на 70%; на сегодняшний день эксплуатационные издержки сокращены до нуля.

Благодаря гарантированному результату технологии *Energcom* помогают компаниям из различных сфер деятельности открывать новые возможности для развития бизнеса, или, таким образом, предприятия и компании, применяющие технологии и решения от *Energcom*, получают новые источники экономии и новые возможности для развития бизнеса.

Одним из основных технологических достижений компании *Energcom* является производство чрезвычайно надёжных промышленных и уличных светильников по уникальной запатентованной технологии. Кроме этого, *Energcom* с успехом продвигает собственную уникальную методику по расчёту систем освещения с наиболее оптимальными характеристиками и наименьшей стоимостью владения.



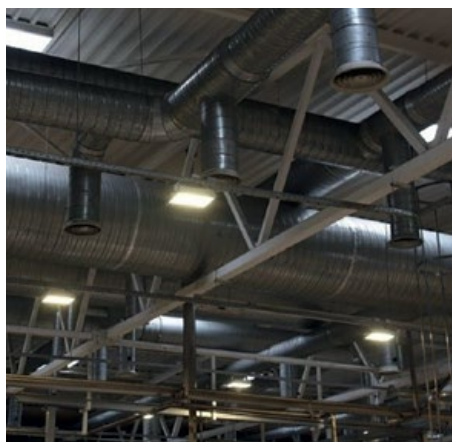
Процесс сборки СД светильника серии NR-FLW



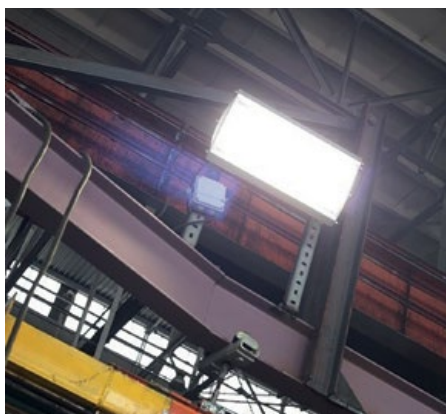
Уличное освещение, г. Воронеж

Данная методика позволяет подбирать наиболее точную комплектацию светильников, обеспечивающую необходимый срок службы и учитывающую расчётный период владения – благодаря чему достигается минимальный уровень расходов на освещение.

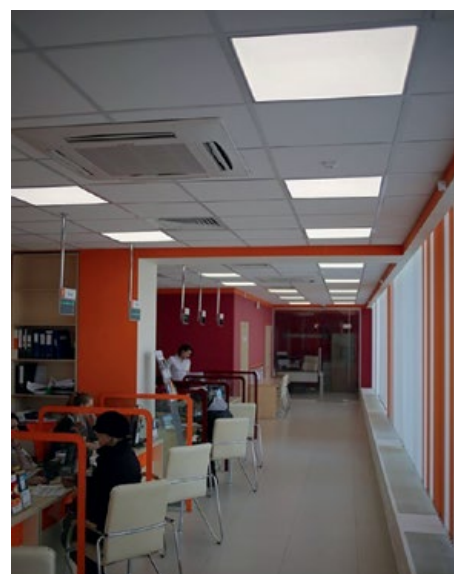
В 2016 году компания *Energcom* передала во ВНИСИ им. С.И. Вавилова для добровольных светотехнических и тепловых испытаний свои промышленные светодиодные светильники NR-FLW70. Результаты испытаний приведены в статье ниже.



Завод «Балтика», г. Воронеж



«ВМК ИНВЕСТ» (завод алюминиевого профиля)



Офис ПАО «МДМ БАНК»

# Исследования спада светового потока светодиодных светильников «Энерком»

А.А. БАРЦЕВ, В.М. ПЯТИГОРСКИЙ,  
Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ, А.С. ШАРАКШАНЭ

ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова»  
E-mail: iva2000@gmail.ru

## Аннотация

Внедрение световых приборов со светодиодами в различные сегменты экономики требует чёткого представления всех проблем, связанных с решением глобальных задач освоения энергосберегающих технологий. Одно из важнейших преимуществ применения светодиодов в освещении — теоретическое прогнозирование их значительного срока службы. Работа посвящена экспериментальным исследованиям и прогнозированию срока службы конкретных светодиодных ОП на основе экспериментальных данных измерений стабильности их светового потока и цветовых характеристик. Проведены светотехнические и тепловые испытания промышленных светодиодных светильников типа NR-FLW70 производства «Энергоинжиниринговой компании «Энерком». Сравнены светотехнические параметры этих светильников, изъятых из осветительной системы предприятия, наработавших порядка 30 000 ч, и светильников той же партии с нулевым временем наработки. Определена стойкость параметров к повышенным температурам и выполнена оценка стабильности светотехнических параметров, спрогнозирован срок службы.

**Ключевые слова:** спад светового потока, срок службы  $L_{70}$ , коррелированная цветовая температура, КЦТ, температурный коэффициент, температура  $p-n$ -перехода, люминофор, деградация

## 1. Введение: тепловой режим и деградация СД ОП

Принципиально важную роль при проектировании СД ОП играет обеспечение их нормального теплового режима при эксплуатации. Известно, что большинство механизмов выхода СД из строя зависят от температуры. Превышенные температуры  $p-n$ -пе-

рехода СД ( $T_j$ ) — причина снижения светового потока СД и ускоренной деградации кристаллов. Максимальная температура  $T_j$  для каждой линии продукции указывается производителем в её технических данных. При этом  $T_j$  влияет, в частности, на световой поток  $\Phi_v$ , цветность излучения и прямое напряжение  $V_f$  на СД, а на саму  $T_j$  влияют, преимущественно, три показателя:

— температура окружающей среды (воздуха) в непосредственной близости к СД;

— степень лёгкости прохождения тепла между  $p-n$ -переходом и его окружением;

— потребляемая (и затем рассеиваемая) электрическая мощность СД ( $P_d$ );

При этом зависимость  $\Phi_v$  от  $T_j$  [°C] определяется выражением [1]

$$\Phi_v(T_2) = \Phi_v(T_1) \times \exp(-k \times \Delta T_j),$$

где  $\Phi_v(T_1)$  и  $\Phi_v(T_2)$  есть  $\Phi_v$  при  $T_j = T_1$  и  $T_2$  соответственно;  $k$  — температурный коэффициент,  $\Delta T_j = (T_2 - T_1)$ .

Типичные значения  $k$  для некоторых сверхъярких СД приведены в таблице 1.

Как следует из этого выражения, повышение  $T_j$ , например, с 25 до 100 °C снижает световой поток СД на основе *AllnGaP* (красные, красно-оранжевые, жёлтые) в среднем наполовину, тогда как на СД на основе *AllnGaN* или *InGaN* (синие, зелёные, белые) подобное влияние темпера-

туры существенно меньше (в пределах 7–8%).

Большинство люминофоров, используемых в СД, имеют тенденцию к постепенной потере эффективности, при этом механизмы этого процесса могут быть различны. Активаторы могут подвергаться изменению валентности (обычно окисление), кристаллическая решётка может деградировать, атомы — чаще активационные — диффундируют через матрицу, поверхность подвергается химическим реакциям с окружающей средой и т.д. Другой важный механизм, приводящий к потере квантовой эффективности люминофора, — перегрев. На рис. 1 приведено изменение квантовой эффективности при повышении температуры некоторых широко применяемых люминофоров.

Обычно СД герметизируются оптически прозрачной эпоксидной смолой. При достаточно высокой температуре, называемой температурой стеклования (полимера)  $T_g$ , эпоксидные смолы переходят из твёрдого стеклообразного состояния в вязкотекучее. Как правило, с температурой  $T_g$  связано резкое изменение коэффициента теплового расширения (КТР) полимеров, и  $T_g$  определяют как среднюю точку температурного интервала, на котором указанное изменение произошло. Во избежание катастрофических разрушений корпусов СД следует всегда удерживать  $T_j$  ниже  $T_g$  эпоксидного (или иного) герметика. Поэтому приводимая производителями СД максимально допустимая  $T_j$  ( $T_{j, max}$ ) всегда ниже  $T_g$  используемого герметика. При этом большинством производителей СД в настоящее время для  $T_{j, max}$  даётся (125–135) °C, хотя и появились «первые ласточки» с  $T_{j, max}$  до 150 и даже 185 °C. При нарушении условия  $T_j \leq T_{j, max}$ , т.е. когда  $T_j > T_{j, max}$ , КТР эпоксидного гер-

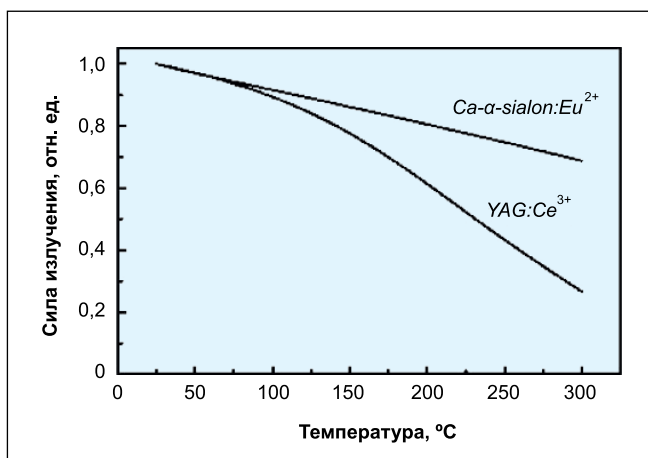
Таблица 1

Температурный коэффициент  $K$  сверхъярких СД

Тип материала кристалла /цвет излучения /особенность подложки СД	$k, 1 / ^\circ\text{C}$
<i>AllnGaP</i> , красно-оранж., подложка поглощающая	$9,52 \cdot 10^{-3}$
<i>AllnGaP</i> , жёлтый, подложка поглощающая	$1,11 \cdot 10^{-2}$
<i>AllnGaP</i> , красно-оранж., подложка прозрачная	$9,52 \cdot 10^{-3}$
<i>AllnGaP</i> , жёлтый, подложка прозрачная	$9,52 \cdot 10^{-2}$
<i>AllnGaN</i> , синий	$9,5 \cdot 10^{-4}$



Рис. 1. Изменение силы излучения при повышении температуры [2]



метика начинает непрерывно и быстро расти. А большой КТР влечёт более сильные термические расширение и сжатие, влекущие, в частности, более сильные перемещения проводочного соединения внутри корпуса СД и, как следствие, преждевременный износ и разрушение этого соединения (что означает полный отказ работы СД). Безусловно, каждый из компонентов современных сверхъярких светодиодов может в определённый момент дать сбой, и причины этому могут быть разные — от низкого качества используемого материала до неверного изначального дизайна. И всё же, как уже упоминалось выше, наибольшая вероятность повреждения, деградации или отказа связана с неверными электрическим или термическим (суть, электрическим) условиями использования.

## 2. Испытываемые светильники

Светильники типа *NR-FLW 70* производства «Энергоинжиниринговой компании «Энерком» предназначены для освещения промышленных предприятий и складских территорий, цехов и технологических помещений, стоянок и строительных площадок, наружной подсветки зданий и рекламных конструкций, городских и придомовых территорий, объектов социально-культурной сферы.

### 2.1. Необходимость прогноза стабильности светового потока

Длительность покрытого гарантией срока службы данного светильника недостаточна для принятия решения о выборе оборудования. К концу срока службы осветительная система должна обеспечивать нормативные

уровни освещённости. Меньшая скорость спада светового потока даст основание использовать меньший запас по освещённости при проектировании и позволит сократить расходы на электроэнергию, большая — позволит предусмотреть при проектировании дополнительные меры для сохранения необходимых уровней освещённости. Но отсутствие информации о скорости спада светового потока не позволит обосновать использование данного оборудования при проектировании системы.

### 2.2. Метод прогноза стабильности светового потока

Методика определения скорости спада светового потока выполнена с учётом стандарта *IES LM-80* [3], разработанного Светотехническим обществом Северной Америки. При оценке рабочего ресурса ОП использовались методы, предложенные разработчиками стандарта *IES TM-21* [4]. На основе экспоненциального закона спада светового потока во времени:

$$\Phi(t) = \Phi_0 \exp(-\alpha t),$$

где  $\Phi_v(t)$  — световой поток,  $\Phi_0$  — его начальное значение,  $\alpha$  — константа скорости спада светового потока.

При известном изменении светового потока за время  $\Delta t$ , прошедшего от момента наработки первой 1000 ч, константа скорости спада светового потока оценивается по формуле

$$\alpha = \frac{-\ln \frac{\Phi}{\Phi_0}}{\Delta t}$$

Оценка времени снижения светового потока до уровня  $L_x$ :

$$L_x = 1000 + \frac{\ln x / 100}{-\alpha}$$

Для аппроксимации рекомендуется использовать не менее 20 образцов, со временем наработки не менее 6000 ч. Причём, фотометрическими данными за первую тысячу часов эксплуатации, в течение которых световой поток, практически, не спадает и может даже несколько возрасти, так как идет не характеризующие дальнейший период эксплуатации переходные процессы, предписывается пренебречь.

Однако мы имеем возможность использовать для аппроксимации экспериментальные данные зависимости светового потока от времени наработки для светильников, эксплуатировавшихся в цеху предприятия в течение 30000 ч. Также есть возможность воспользоваться фотометрическими данными за время дополнительного отжига не бывшего в эксплуатации светильника в течение 1000 ч, что позволит в соответствии с правилами *TM-21* пренебречь фотометрическими данными за время установления переходных процессов. Значения светового потока для аппроксимации берутся через 1000 и через 30000 ч.

Вместо 20 образцов используются только четыре. Замена данных полученных в лаборатории для одного светильника на результаты измерений нескольких разных светильников из одной партии, проработавших разное время вносит в интерполированные результаты ошибку, обусловленную малым числом точек измерения и разбросом световых потоков светильников одной партии. Методы *TM-21* предполагают проводить испытания при двух различных фиксированных температурах кристалла и расчётным методом определять скорости снижения светового потока для других значений температуры. Мы же имеем данные о работе светильника в условиях реального применения в цеху на производстве. Соответственно, прогноз стабильности светового потока нами сделан для этих же типичных условий применения.

### 2.3. Температурный анализ

Методика *LM-80* предписывает измерение параметров светодиодов в лабораторных условиях при ста-

бильных параметрах окружающей среды и при максимальном значении температуры точки пайки светодиодов 85 °С.

При ошибках конструирования теплопроводящего тракта осветительного прибора со светодиодами кристаллы и люминофор могут эксплуатироваться в условиях повышенных температур, что ведёт к повышенной скорости деградации и особенно к спаду светового потока, которые не могут быть учтены при расчёте по методикам *ТМ-21*. Соответствие температур СД в ОП установленным производителем рабочим значениям и не превышение 85 °С для точки пайки — условие корректности использования методик *ТМ-21* и надёжности прогноза временной стабильности параметров.

Источник света в светильниках *NR-FLW70* — светодиодный *СОВ*-модуль. Производитель не задал точки пайки и процедуры измерения. Однако есть возможность оценивать температуру кристалла и люминофора методом измерений прямого напряжения и светового потока. Условие не превышения температуры кристалла 85 °С является более жёстким, чем не превышение этой же пороговой температуры точки пайки, и гарантирует приемлемость температурного режима работы СД модуля.

Также конструкция светодиодного модуля допускает прямое измерение температуры люминофора.

#### 2.4. Светильники, изъятые для испытаний

Светильники *NR-FLW70* с серийными номерами 23718, 23772, 23777 (рис. 2, а) изъятые из осветительной системы помещения «Цех розлива» предприятия ООО «Пивоваренная компания «Балтика», филиал «Балтика-Воронеж» (рис. 3), по протоколу № 201601261 от 26 января 2016 г. Данные светильники в соответствии с Актом о сдаче-приёмке выполненных работ от 9 августа 2012 г. установлены на объекте и работали в круглосуточном режиме (акт предприятия), наработав за 1265 дней эксплуатации 30360 ч.

Для сравнения взят светильник *NR-FLW70* с серийным номером 35278 с нулевым временем наработки, изъятый со склада предприятия (рис. 2, б).



Рис. 2. Светильники, изъятые из осветительной системы (а), светильник, изъятый со склада хранения (б)



Рис. 3. Процедура изъятия светильников *NR-FLW70* с серийными номерами 23718, 23772, 23777 для испытаний из осветительной системы цеха

##### 2.4.1. Технические параметры светильника, заявленные производителем

В светильнике соединено последовательно 7 модулей, в каждом из которых имеется последовательно-параллельное соединение 160 кристаллов (рис. 4) с общим прямым

напряжением 6,2 — 6,4 В. Заявленная предельная рабочая температура кристалла — 125 °С.

Номинальный ток светильника — 1600 мА. Предельное заявленное значение силы тока для одного кристалла — 60 мА, что соответствует 4,8 А для модуля.



Результаты первичных измерений светового потока ОП

№ светильника	23718	23772	23777	35278
Время наработки, ч	30000			0
Световой поток, лм	5930	5950	6040	7470
Мощность, Вт	74,4	74,9	75,5	74,6

Данные для светильника № 23777

Наработка, ч	Световой поток в%
1000	100,0
31360	81,1

Таблица 3

Результаты измерений светового потока после дополнительного непрерывного отжига 1000 ч

№ светильника	Время работы, ч	Световой поток, лм
35278	1000	7510
23777	31360	6090

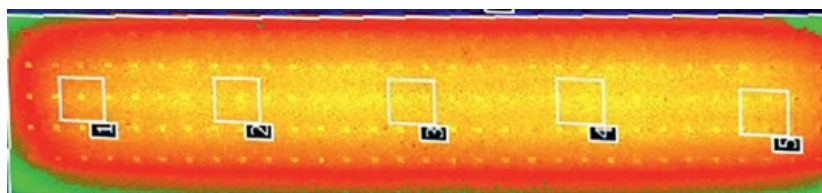


Рис. 4. Изображение, полученное с помощью яркомера-колориметра на основе ПЗС-матрицы, иллюстрирующее расположение кристаллов в светодиодном модуле

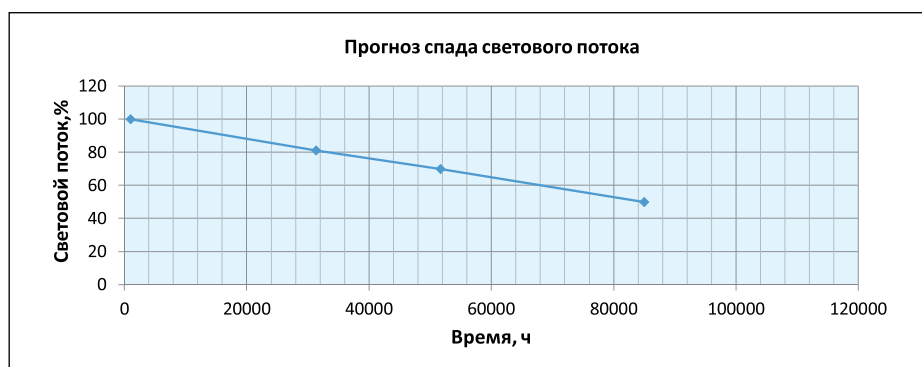


Рис. 5. Прогноз спада светового потока

## 2.5. Методика выполнения температурного анализа

Для целей контроля параметров светильника, включенный в тепловую схему светильника источник работает в штатном режиме, являясь источником постоянного тока для СД модуля другого светильника. А ток на СД модули испытываемого светильника подается от лабораторного источника.

### 2.5.1. Методика измерений

– Выбираются два бывших в эксплуатации светильника, определяют-

ся испытываемый светильник и тот, который играет при измерениях вспомогательную роль.

– Термопара крепится на основной корпусной детали испытываемого светильника.

– Источник питания испытываемого светильника подключается к СД модулю второго светильника. Светодиодные модули испытываемого светильника подключаются к лабораторному источнику тока при номинальном для светильника токе 1600 мА. Обеспечивается возможность записи в реальном времени тока и напряжения на модулях основного светильника.

– Светильники размещаются в рабочем положении в камере тепла. На светодиодные модули испытываемого светильника подаются номинальный ток и одновременно рабочее напряжение на источник питания основного светильника. Выполняется запись прямого напряжения во время прогрева светильника и запись изменения светового потока (в относительных единицах) при прогреве светильника.

– Температуру в климатической камере поднимают до предельной рабочей температуры светильника, равной 50 °С. Фиксируется изменение прямого напряжения, изменения относительного светового потока и прямого напряжения на СД модулях при прогреве светильника. Измерения повторяют при снижении температуры в камере до нижней предельной рабочей температуры, равной –60 °С.

– В момент включения, и после прогрева светильника, а также при всех устоявшихся значениях рабочей температуры измеряют КЦТ и пропорциональную световому потоку освещенность от окна камеры.

– На основании полученных данных определяется температурный коэффициент изменения прямого напряжения и прогнозируется температура кристалла при прогреве светильника до предельной рабочей температуры.

– Светильник прогревается при комнатной и предельной температуре, контактным методом каждый раз определяется температура люминофора.

## 2.6. Результаты испытаний

Результаты измерений светового потока всех изъятых с производства светильников приведены в табл. 2. Для получения дополнительной информации о спаде светового потока с учетом времени наработки СД, два светильника были включены 24 ч в сутки с целью измерения светового потока после 1000 ч работы. Результаты измерений приведены в табл. 3.



Разброс световых потоков светильников после наработки более 30 000 ч составляет порядка 2%, что является признаком высокой воспроизводимости характеристики внутри партии и даёт основание принять столь же незначительным разброс значений светового потока и для не эксплуатирувавшихся светильников. Для оценки константы  $\alpha$  использованы фотометрические данные для светильника с серийным номером 23777, имеющего максимальный срок горения (табл. 4).

Оценка константы скорости снижения светового потока  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{-\ln \frac{\Phi}{\Phi_0}}{\Delta t} = \frac{-\ln \frac{81,1\%}{100\%}}{30360} = 6,9 \cdot 10^{-6}.$$

$$\Phi(t) = \Phi_0 \exp(-6,9 \cdot 10^{-6} t).$$

Прогноз спада светового потока в зависимости от времени горения представлен на рис. 5.

Время снижения светового потока до 70% от начального значения  $L_{70}$  составит

$$L_{70} = \frac{\ln 0,7}{-\alpha} = 51692 \text{ ч.}$$

На рис. 6 представлена зависимость спада светового потока от температуры окружающей среды, которую можно аппроксимировать формулой:  $\Phi_v(T) = -0,1897 \times T(^{\circ}\text{C}) + 105,3, \%$ , что означает снижение светового потока на 0,19% при повышении температуры на 1 °C, или на 4,7% при повышении температуры окружающей среды от 25 °C до (предельной рабочей) 50 °C. На левой границе рабочих температур световой поток, наоборот, на 16% выше, чем при 25 °C. При прогреве светильника при комнатной температуре освещённость в плоскости измерения снижается на 4,3%, что, вероятно, соответствует прогреву кристалла от момента включения до выхода на устойчивый тепловой режим 23 °C.

С ростом температуры КЦТ растёт (рис. 7) с коэффициентом 1,2, что означает рост КЦТ на 1,2 К при увеличении температуры окружающей среды на 1 °C. Также это означает повышение КЦТ на 30 К при увеличении температуры окружающей среды с номинального значения 25 °C до предельной рабочей температуры 50 °C и уменьшение на 102 К при

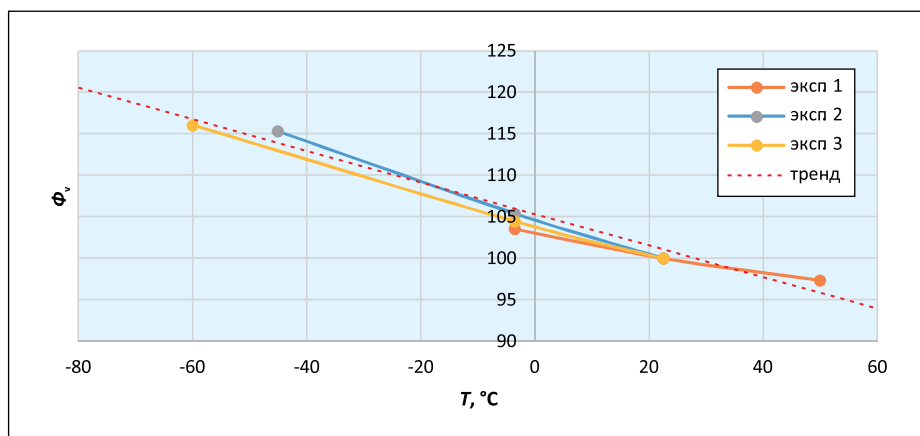


Рис. 6. Зависимость светового потока  $\Phi_v$  от температуры окружающей среды  $T$

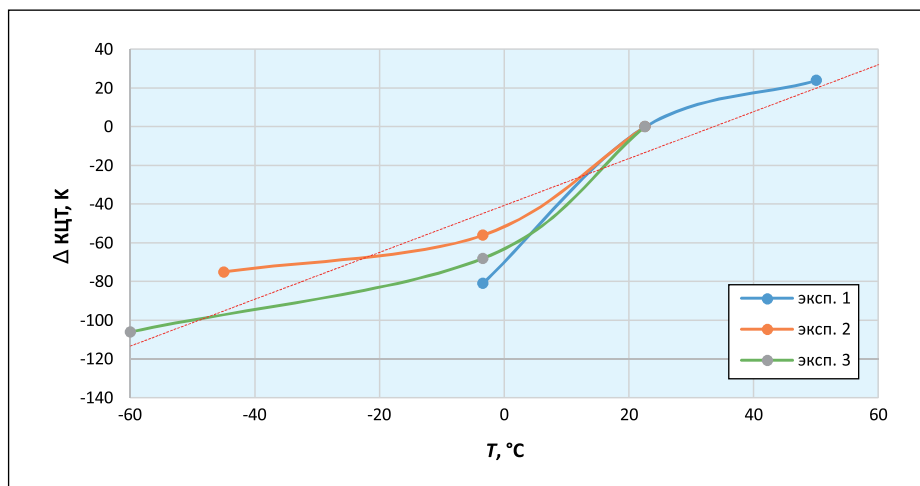


Рис. 7. Изменение КЦТ с ростом температуры окружающей среды  $T$

снижению температуры до предельной нижней рабочей температуры минус 60 °C.

Изменение температуры окружающей среды от -60 до +50 °C не приводит к значимому отклонению цветности свечения. КЦТ остаётся в пределах допустимых отклонений от заданной номинальной цветности из ряда типовых значений по ГОСТ Р 54350–2015.

Результаты прямого измерения температуры корпуса светильника и люминофора контактным методом представлены на рис. 8. Температура корпуса на 21 °C выше температуры окружающей среды, а температура люминофора – на 26 °C. При максимальной рабочей температуре окружающей среды 50 °C температура корпуса составляет 71 °C, температура люминофора 76 °C. Это более чем на 30 °C ниже предельной рабочей температуры современных коммерчески доступных СД, и меньше назначенного предельного значения 85 °C по LM80.

На рис. 9 представлена зависимость прямого напряжения от температуры окружающей среды. С ростом температуры прямое напряжение падает с температурным коэффициентом 0,041 В/°C.

Среднее значение снижения прямого напряжения при прогреве кристаллов от комнатной температуры составило 0,678 В, что соответствует прогреву кристалла на 16 °C. При предельной рабочей температуре окружающей среды 50 °C температура кристалла в соответствии с оценкой методом измерения прямого напряжения составляет 66 °C. Данный метод может давать заниженное значение температуры кристалла в связи с неточностью измерения прямого напряжения в момент включения светильника.

## Выводы

Рост температуры кристаллов СД модуля при прогреве и выходе на устойчивый тепловой режим светиль-

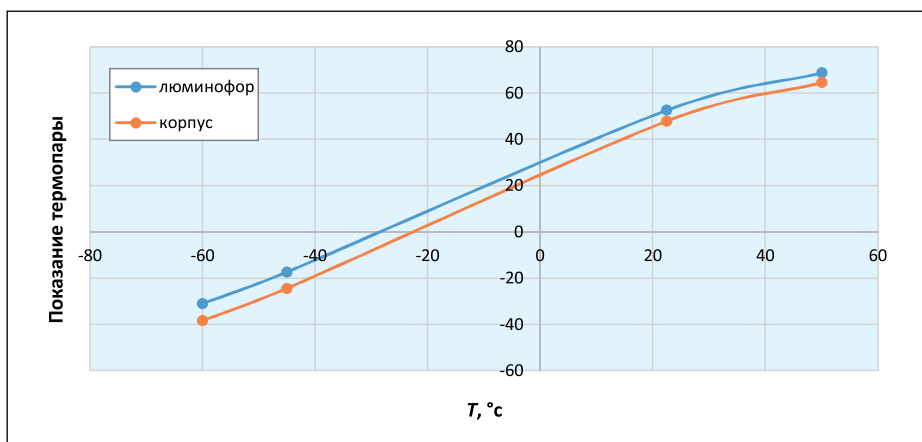


Рис. 8. Результаты прямого измерения температуры контактным методом на корпусе светильника и на люминофоре при разной окружающей температуре  $T$

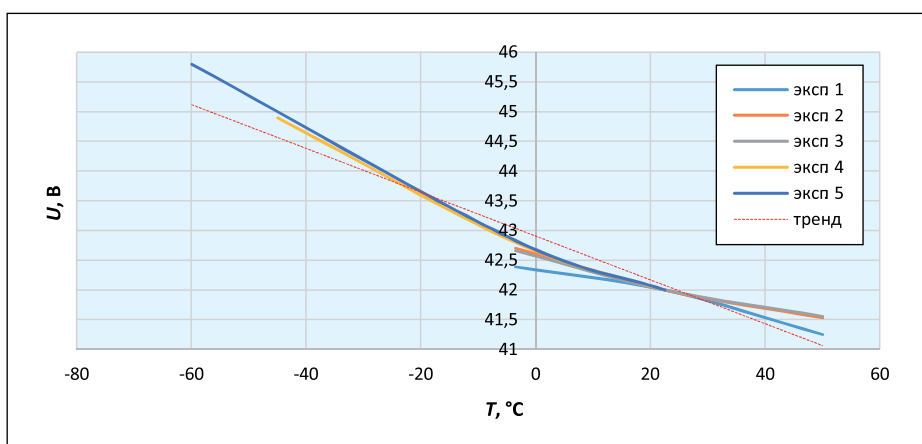


Рис. 9. Зависимость прямого напряжения на СД модулях светильников от температуры окружающей среды  $T$

ника оценён несколькими методами: метод измерения зависимости прямого напряжения от температуры прогнозирует минимальную цифру  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  и требует доработки, метод измерения спада светового потока показывает различие в  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , контактный метод демонстрирует  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Даже наиболее пессимистичная оценка температуры кристалла при максимальной рабочей температуре окружающей среды  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  будет составлять менее  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это свидетельствует о приемлемом тепловом режиме работы светильника, а также позволяет использовать данные о стабильности светового потока, полученные при работе в полевых условиях, для интерполяции, что хорошо согласуется с техническими характеристиками, заявленными производителями кристаллов (разница между температурой окружающей среды и температурой р–n-перехода составляет порядка  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Более  $50\,000\text{ ч}$  до снижения светового потока на  $30\%$  — хороший результат для промышленного све-

тильника, работающего в условиях реального производства. Этот результат полностью согласуется с результатами исследований производителя кристаллов типа *ES-CEBLVIOL*, компании *EPSTAR*, используемых в светильниках типа *NR-FLW70* компании «ЭНЕРКОМ» до 2015 г. С 2015 г. светильники *NR-FLW70* производятся на основе чипов *S-30HBMUP-D* компании *SANAN OPTOELECTRONICS*, которые имеют прогноз по сроку службы  $L_{70}$  — более  $70\,000\text{ ч}$ . Учитывая большой опыт проектировщиков компании «ЭНЕРКОМ» в создании конструкций светильников с оптимальным отводом (рассеянием) тепла на переходе, мы имеем реальный шанс приобретения ОП с ресурсом порядка  $70\,000\text{ ч}$  до допустимого уровня светового потока  $70\%$  от номинала.

Выполненные исследования показали необходимость разработки и внедрения отечественных нормативных материалов (стандартов и методик) для определения ресурсных ха-

рактеристик современных световых приборов и необходимость оснащения испытательных центров соответствующим оборудованием.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайнц Р., Вахтманн К. Неорганические светодиоды. Обзор // Светотехника. — 2003. — № 3. — С. 7–13.
2. Xie, Rong-Jun (2007). «Silicon-based oxynitride and nitride phosphors for white LEDs. A review». Sci. Technol. Adv. Mater. 8: 588.
3. IES LM-80–08 Approved Method: Measuring. Lumen Maintenance of Led Lighting Sources
4. IES TM-21 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources



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



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



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



**Шаракшанэ Антон Сергеевич**, кандидат физ.-мат. наук. Выпускник физического факультета МГУ им. Ломоносова 2001 г. В настоящее время сотрудник ВНИСИ им. С.И. Вавилова и кафедры «Светотехника» ФГОУ ВПО «НИУ «МЭИ»

# Проблемы освещения храмов и их решения

Л. Г. НОВАКОВСКИЙ

ЗАО «ФАРОС-АЛЕФ»

E-mail: pharos-alef@yandex.ru

## Аннотация

Рассмотрены проблемы интерьерного освещения храмов как культовых сооружений, имеющих значимую музейную ценность и выполняющих сценическую задачу службы. Установлен целый ряд возникающих в процессе проектирования противоречий. Предложены варианты решения задачи на основе современных светодиодных элементов и систем управления.

**Ключевые слова:** экспонаты, нормы освещённости, культовое сооружение, поликандило, паникадило, ультрафиолетовое излучение, инфракрасное излучение, КЦТ.

## 1. Интерьерное освещение

### 1.1. Проблемы

Освещение храмов, по существу, представляет собой синтез задач, характерных для создания трёх разных по назначению и оказываемому психофизиологическому воздействию световых сред:

— музея, поскольку в храмах собраны в виде фресок, икон, мозаичных панно уникальные произведения искусства, подвергаемые искусственному и естественному старению;

— драматургической, поскольку литургия представляет собой действие в чётко организованном визуально-акустическом пространстве;

— культового сооружения с каноническим видом световых приборов и специфическим расположением изобразительных объектов, осознание которых является неотъемлемой частью ритуала.

Сохранность живописных экспонатов музеев гарантируется нормами освещения [1–3]. В отличие от производственных, учебных и других помещений, где устанавливаются нижние допустимые показатели, для музеев определяются верхние границы норм, которые не должны превышать ни при каких условиях. Для каждого типа экспоната установлены свои уровни освещённости: — для тка-

ни, газетной бумаги и акварели освещённость не должна превышать 50 лк, — для живописи маслом — 150 лк, а для драгоценных металлов и камней — 500 лк. Кроме того, требуется исключить или свести к минимуму присутствие в освещении агрессивных УФ и ИК частей спектра излучения, так как первая оказывает прямое разрушительное действие, а вторая — косвенно способствует старению материалов, ускоряя химические реакции посредством увеличения температуры. Причём опасность УФ излучения усугубляется тем, что оно обладает так называемым кумулятивным эффектом, в силу чего уровень освещённости оказывается искусственно занижен и, как следствие, искажено восприятие работы.

Соблюдение норм очень строго отслеживается на всех уровнях во всех странах. При этом их воплощение в жизнь часто оказывается своего рода искусством возможного.

Но это музеи — сооружения большей частью спроектированные и выстроенные специально для демонстрации тех или иных объектов искусства. И обслуживаются эти учреждения в соответствии с их функциональным назначением.

Другое дело культовое сооружение: икона в храме, роспись колонн и потолка — это функциональная часть сооружения, имеющая вполне определённый сакральный смысл и предполагающая, в ряде случаев, непосредственное взаимодействие с воспринимающим его субъектом. При этом канон и особенности архитектурной традиции зачастую диктуют форму и размеры иконостаса, конфигурации фресок. Тем не менее, несмотря на кажущуюся унификацию решений в архитектуре, имеет место колоссальное разнообразие в реализации таких проектов. Кроме того, очевидно, нельзя, пользуясь одинаковыми приёмами, добиться хорошего освещения росписи купола и иконостаса, верхний ряд которого почти везде не виден. Поэтому освещение этих объектов — особое искусство,

тем более что в средствах архитектуры были весьма ограничены:

— паникадило — хорос или многоярусная люстра в центре храма,  
— торшер — напольный светильник,  
— поликандило, бра — настенный светильник с 7–12 источниками света (семисвечник или лампада) — по сути, весь арсенал архитекторов.

Довольно скудно для такого рода задач. При этом сохранность остаётся первостепенной проблемой, обязывающей учитывать особенности использования ламп накаливания в совокупности с «живым огнём» с большой долей ИК излучения, отсутствие обслуживания музейного уровня и др.

Очевидно, обеспечение сохранности экспонатов это всего лишь видимая и сегодня принципиально решаемая часть проблемы. Основная же проблема состоит в том, что каждое произведение искусства, будь то живопись, скульптура, фреска мозаика и т.п., уникальны. Они требуют при освещении индивидуального подхода [4], т.е. принципиально разных световых приборов, а в храме такой подход неприемлем, поскольку внешний вид приборов должен быть традиционным и имитировать освещение свечами, т.е. создавать ощущение живого огня (неопалимая купина и т.д.).

Другая серьёзная проблема — это засветки от внешнего естественного и внутреннего искусственного освещения, обусловленные «залаченностью» и остеклением подавляющего большинства работ, а также геометрическими соотношениями взаимного расположения источника освещения и освещаемого объекта.

Не менее важной является задача обеспечения равномерности распределения освещённости при разноудалённых от источников света объектах.

И, наконец, последняя проблема — обеспечение высокого качества цветопередачи при относительно низкой цветовой температуре. Из сказанного следует, что правильное освещение церковной изобразительной атрибутики, в большинстве случаев имеющих ценность произведений искусства, требует разрешения целого ряда противоречий:

— увеличение уровня освещённости до соответствующего уровню освещённости при написании работы (иконы, фрески, и т.п.), с условием абсолютной сохранности живопис-





Рис. 1. Хорос



Рис. 2. Каскадное паникадило

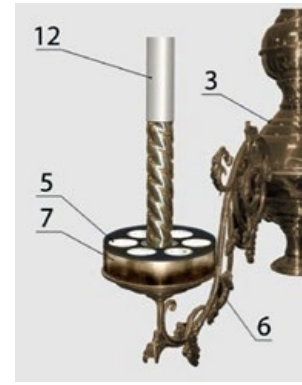


Рис. 3. Чашка

ного (культурного) слоя и традиционного канонического исполнения (внешнего вида) световых приборов;

- равномерная освещённость при относительно близком расположении источников излучения;

- относительно низкая коррелированная цветовая температура при максимально высоком качестве цветопередачи;

- устранение бликов от внешних источников при различных условиях экспозиции и традиционном расположении световых приборов;

- управление уровнем освещённости на освещаемом объекте в зависимости от уровня внешнего освещения;
- универсальность исполнения при относительно небольшой цене.

Анализ этих задач и противоречий с учётом современного уровня развития светодиодной техники освещения позволяет утверждать, что использование для построения световой среды музеев и культовых сооружений светодиодов позволяет обеспечить решение всех этих проблем [5, 6] благодаря следующим факторам:

- уменьшению эксплуатационных издержек за счёт снижения потребляемой мощности вследствие увеличения световой отдачи источников света; световая отдача современных светодиодов достигает уровня 80–140 лм/Вт, что в 5–10 раз больше, чем у обычных ламп накаливания, и почти в четыре раза больше, чем у галогенных, что, в свою очередь, при увеличенном в 1,5 раза общем световом потоке обеспечивает четырёхкратную экономию материальных ресурсов;

- повышению пожарной и эксплуатационной безопасности за счёт снижения питающего напряжения собственно световых приборов с 220 до 36 В, с гальванической развязкой от первичной цепи;

- повышению надёжности работы системы, за счёт обеспечения работоспособности системы в большом диапазоне входного напряжения: от 90 до 305В;

- увеличению ресурса работы системы и упрощению процесса обслуживания за счёт увеличения срока службы светодиодов, достигающего 50000–70 000 ч непрерывного горения, т.е. с учётом 20-часовой ежедневной эксплуатации это практически 10 лет беспрерывной работы, не требующей обслуживания;

- обеспечению высокой эффективности за счёт возможности управления как абсолютным значением освещённости путём регулирования параметров питания светодиодов, так и распределением освещённости, исключая необходимость использования дополнительных осветителей, т.е. – возможности адаптации освещения к архитектурным и функциональным особенностям храма, а также к особенностям росписи и икон храма.

Однако ни Сикстинская капелла, ни монастырь Санта-Мария-делла-Грацие уже давно не выполняют культовых функций. Это, по существу, – музеи, не требующие при их освещении новыми осветительными приборами сохранения канонического вида.

ООО «Фарос-Алеф» обладает богатым опытом в разработке новых световых приборов на основе светодиодов [7,8], включая специальные для освещения уникальных произведений искусства [9,10].

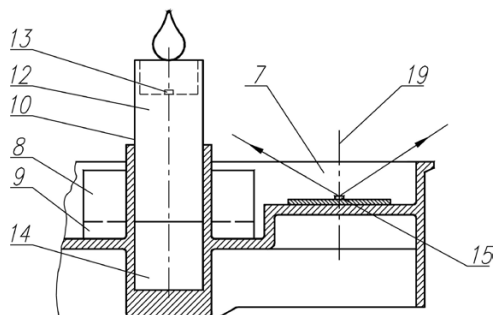
Достижение новых характеристик паникадила, естественно, потребовало изменения его конструкции. В данном случае следует подробно остановиться на способах достижения того или иного эффекта.

## 1.2. Способ решения задачи или краткое описание принципов построения конструкции паникадила

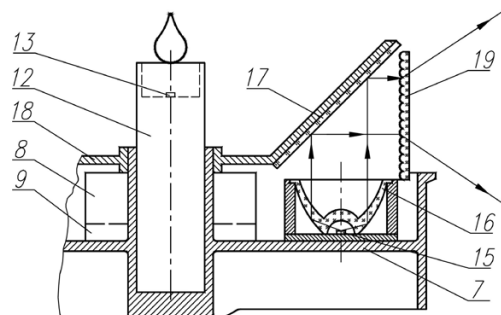
Предлагаемая конструкция паникадила [11] содержит (рис. 1 и рис. 2): корпус, с механизмом подвеса, и может быть выполнена в виде «хороса», как это показано на рис. 1, или «каскадной» люстры, показанной на рис. 2.

В любом случае механизм подвеса включает распределительный узел, в котором размещён основной источник питания (количество основных блоков питания, определяется количеством уровней размещения). Кроме того, световой прибор содержит световые блоки, показанные на рис. 3, включающие: опорный кронштейн 6, защитную чашку 7 (количество чашек 7 паникадила определяется площадью освещаемой поверхности при соответствующей мощности), в которой размещены дополнительный источник питания 8 с блоком управления 9, а также световые модули 10 и 11 (рис. 4).

При этом световой модуль 10, расположен в центре чашки 7, как это показано на рис. 4, и состоит из расположенного в верхней части матовой цилиндрической колбы 12 светодиода 13, имеющего по меньшей мере два кристалла, и автономного источника питания 14, включающего кристаллы светодиода 13 асинхронно, а световые модули, показанные на рис. 4 а, б содержат светодиоды 15, подключённые к источнику питания 8 и блоку управления 9. В другом конструктивном варианте (рис. 4б) световые модули содержат вторичную концентрирующую оптику 16 и преломляющий элемент 17, смонтированный на кронштейне 18, а также рассеиватель 19, который

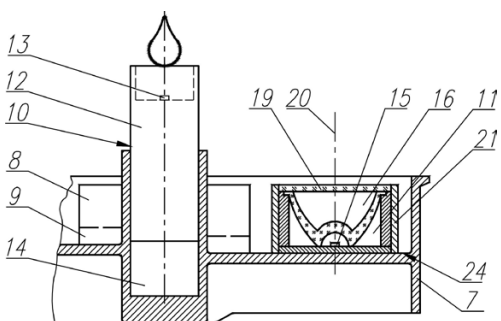


а)

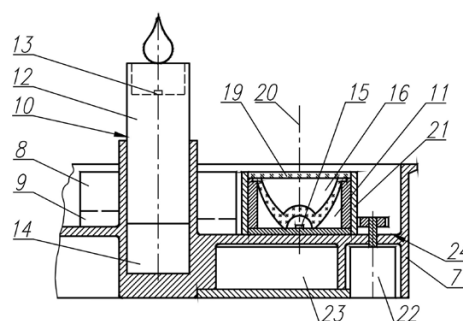


б)

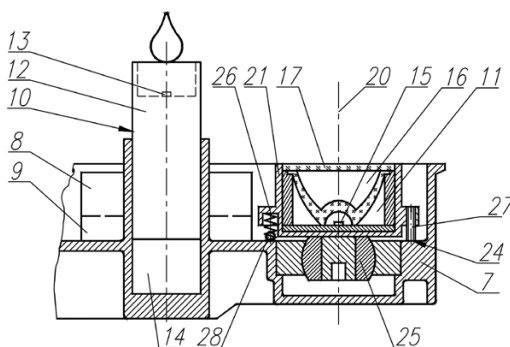
Рис. 4. Конструкция чашки: а) без преломляющего и рассеивающего элементов, б) с преломляющим и рассеивающим элементом



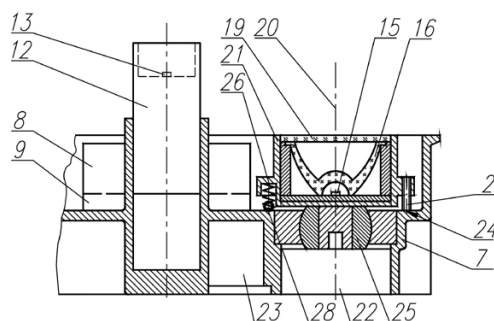
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Конструкция чашки с регулировкой светового пучка: а) ручная в одной плоскости, б) дистанционная в одной плоскости, в) ручная в двух плоскостях, г) дистанционная в двух плоскостях

может иметь разную преломляющую структуру.

В третьем конструктивном варианте, показанном на рис. 5, рассеиватель 19 также может иметь различные преломляющие элементы. В этом случае он может быть установлен на вторичной оптике 16 неподвижно или с возможностью поворота вокруг оптической оси 20, например, на оправке 21. Его можно вращать вручную, либо, как это показано на рис. 5, б, с помощью шагового привода, включающего собственно шаговый двигатель 22 и блок управления 23, с возможностью дистанционного воздействия.

В другом конструктивном варианте, показанном на рис. 5, в, и 5, г, световой модуль 11 может быть смон-

тирован на основании 24 чашки 7 на шаровом шарнире 25, обеспечивающем возможность ручного поворота светового модуля 11 в вертикальной плоскости за счёт упруго поджатой пружины 26 винтом 27 опоры 28, сохраняя при этом возможность поворота рассеивателя 19 вокруг оси 20 с помощью дистанционно управляемого шагового двигателя 22 и соответствующего блока управления 23.

При этом в обоих конструктивных исполнениях основание 23 чашки 7 является частью радиатора, который может быть выполнен как элемент декора.

В итоге реализация предлагаемой конструкции позволяет обеспечить возможность имитации мерцания

пламени. Использование светодиодов в данном случае позволяет добиться иллюзии мерцания свечи — за счёт использования, например, диодов с двумя или большим числом кристаллов при включении их в импульсном режиме с заданным фазовым сдвигом.

### Возможность управления коррелированной цветовой температурой

Использование светодиодов различных цветовых оттенков белого в одном или в разных модулях позволяет при смешивании излучения на объекте добиваться различной коррелированной цветовой температуры,

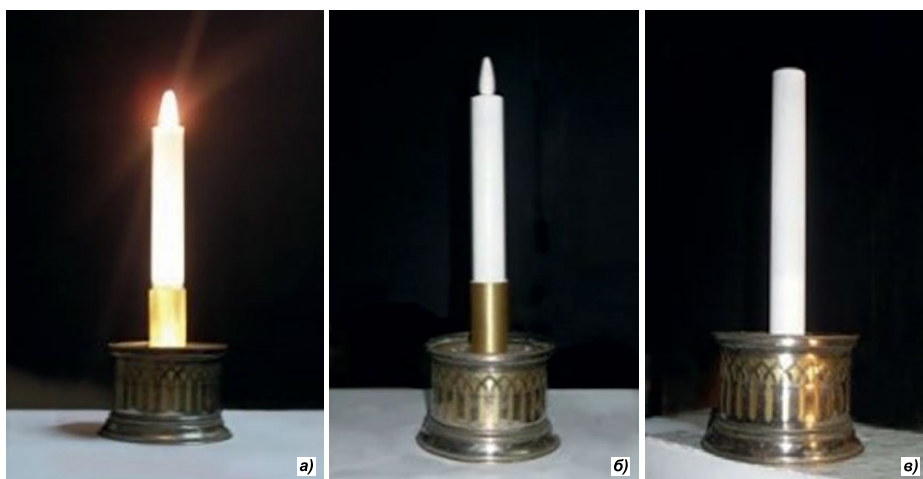


Рис. 6. Фрагмент паникадила: а) с включенным диодом имитирующим зажжённую свечу, б) с выключенным диодом без устранения муляжа пламени, в) с выключенным диодом с устранением муляжа пламени

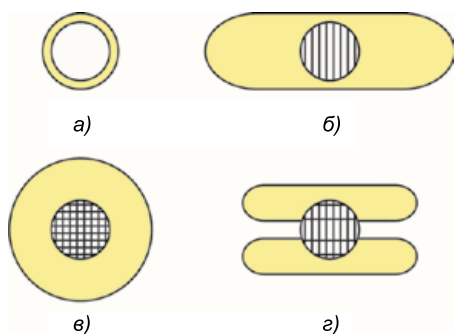


Рис. 8. Трансформация светового пучка на различных рассеивающих структурах



Рис. 7. Варианты рассеивающих структур конвертеров

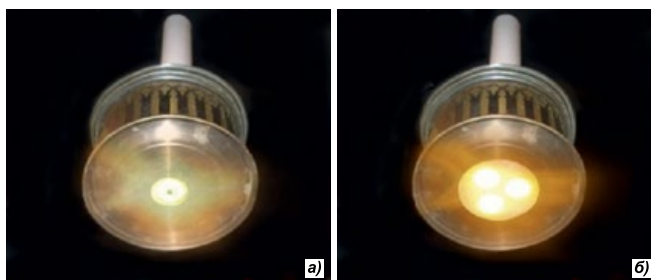


Рис. 9. Осветители встроенные в низ чашки рожка

обеспечивая необходимую для оптимального восприятия соответствующего объекта (росписи, иконы, лепнины, и т.п.) световую среду.

### Возможность сохранения естественного внешнего вида свечи в нерабочем состоянии

Использование светодиода в качестве источника света имитирующего зажжённую свечу путём проекции излучения на полупрозрачную колбу, позволяет при выключении питания убирать колбу внутрь корпуса свечи с помощью привода, как это показано на рис. 6.

### Возможность управления светораспределением

Это, пожалуй, главная особенность использования светодиодов. Однако, как уже указывалось, это требует некоторого пересмотра конструкции паникадила, содержащего несущую раму с элементами подвеса и смонтированные на ней подсвечник (держатель свечи) с чашкой для сбора воска или парафина. Понятно, что при использовании в качестве источника света ламп накаливания функция чашки потеряла свой первоначальный смысл и превратилась исключительно в декоративный элемент.

При использовании светодиодов чашка снова может нести функциональную нагрузку — корпуса для размещения светодиодов и конвертеров, концентрирующих и трансформирующих световой пучок за счёт выполнения на выходном торце рассеивающих элементов цилиндрического или призматического вида. Очевидно, что использование набора конвертеров с преломляющей оптикой и без неё при соответствующей ориентации конвертеров относительно заданных координат позволяет формировать практически любое светораспределение. Поэтому в зависимости от архитектурных, художественных и других особенностей храма, таких как наличие росписи, её место расположения, объём алтарной части, количество рядов икон в алтарной части, расстояние от росписных элементов собора до барабана или подвеса паникадила и др., модули имеют тот или иной тип рассеивателя и ориентацию относительно освещаемого объекта.

На рис. 7 показаны фрагменты конструкции паникадила, обеспечивающие заданный характер светораспределения, а на рис. 8 — распределение освещённости от каждого из используемых элементов, формирующих световой пучок:

- светодиод с конвертером без рассеивателя (рис. 8, а);
- светодиод с конвертером с цилиндрическими линзами (рис. 8, б);
- светодиод с конвертером со сферическим рассеивателем (рис. 8, в);
- светодиод с конвертером с призматическим рассеивателем (рис. 8, г).

Не менее важным объектом создаваемого освещения являются площади или участки площади (отдельные площадки) в основании Храма, т.е. на полу. Решение этой задачи также обеспечивается предлагаемым вариантом конструкции паникадила.

Достижение необходимого уровня освещённости в данном случае достигается за счёт светодиода с конвертером и соответствующим задаче рассеивателем, установленным в муляже каждой свечи излучателем вниз, как это показано на рис. 9, а, т.е. вниз будут работать столько светодиодов, сколько свечей в паникадиле, и каждый из них имеет мощность не менее 3 Вт.

В другом варианте конструкции, рис. 9, б, освещение вниз может быть достигнуто использованием



модуля, содержащего три светодиода мощностью 1 Вт каждый, вмонтированного в нижнюю плоскость (дно чашки рожка). Энергетически оба варианта одинаковы. Выбор варианта определяется из стилистических соображений.

Понятно, что оба варианта отличаются в лучшую сторону от традиционного использования в качестве источника света лампы накаливания, поскольку при использовании лампы мощностью 60 Вт, световой поток которой не превышает 660 лм, вниз идёт только четверть светового потока, т.е. 165 лм.

При этом оба предлагаемых варианта позволяют управлять создаваемым пространственным распределением света в зависимости от решаемой задачи освещения с помощью рассеивателя, выполненного на внешней поверхности конвертера, и соответствующего блока управления.

Таким образом, использование светодиодов в конструкции паникадила решает все поставленные задачи.

На рис. 10 показан эффект, достигаемый применением предлагаемого решения (по сравнению с традиционным освещением интерьеров храма).

## 2. Экстерьерное освещение

### 2.1. Анализ применяемых технических решений

Наряду с освещением интерьеров храма (иконостаза, отдельных икон, росписи, фресок, мозаичных панно, скульптур и т.п.) очень важным элементом представления храма является его внешнее освещение.

Очевидно, что уникальная архитектура храма, несущая в первую очередь сакральный смысл и отражающая его посвящение, требует и соответствующего освещения в тёмное время суток, сохраняющего его восприятие при естественном освещении. При этом понятно, что искусственное освещение позволяет подчеркнуть некоторые архитектурные особенности, но делать это необходимо очень деликатно, примером тому может служить архитектурное освещение ансамбля Свято-Данилова монастыря [13] и Храма Преподобного Сергия Радонежского в Волгограде [14].

К сожалению, сегодняшняя практика освещения зданий, в ряде слу-

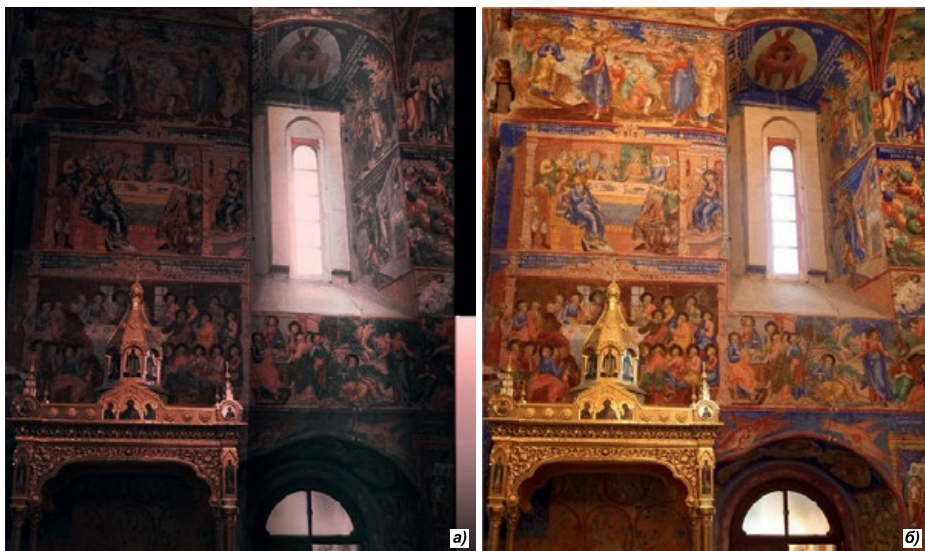


Рис. 10. Освещение храма «Троицы в Никитниках»: а) традиционным паникадиллом, б) по предлагаемому решению

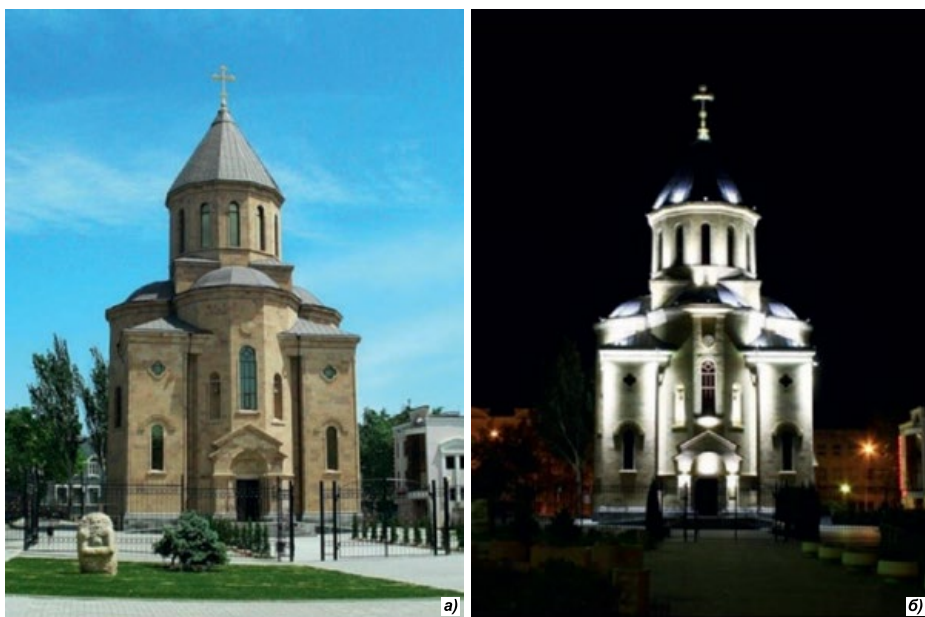


Рис. 11. Вид Армянской апостольской церкви: а) естественное освещение б) ночное освещение

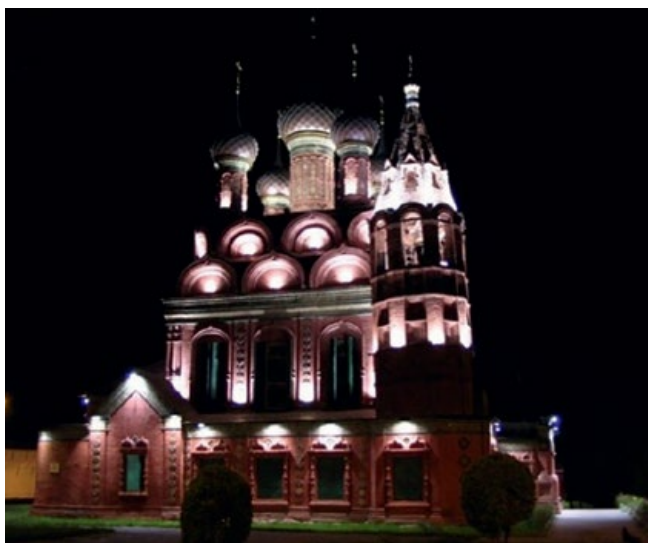


Рис. 12. Пример освещения церкви Богоявления



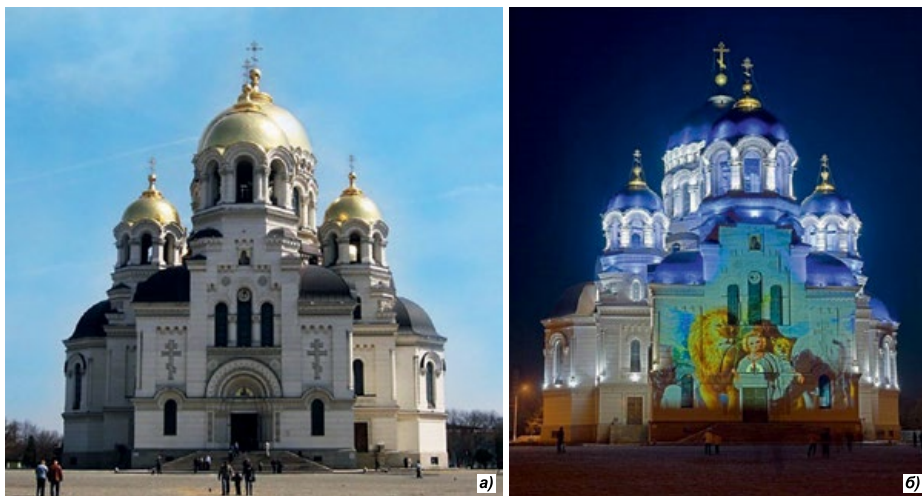


Рис. 13. Вид Свято-Вознесенского собора в Новочеркасске: а) естественное освещение б) ночное освещение

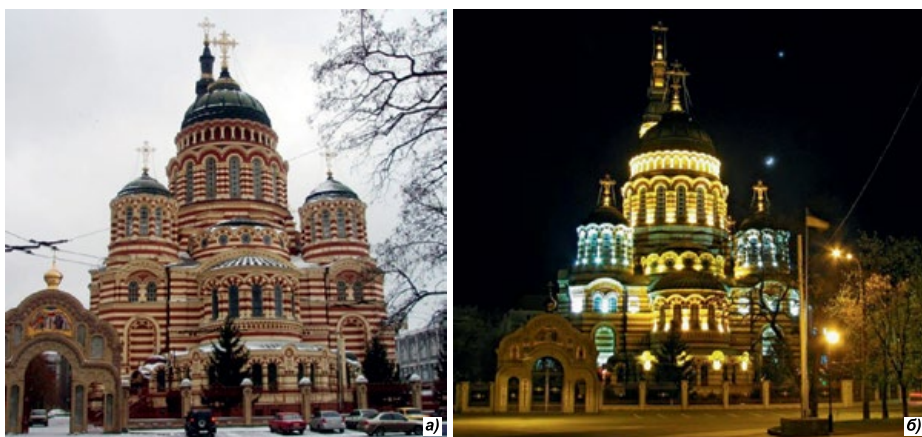


Рис. 14. Вид Богоявленского собора в Харькове: а) естественное освещение б) ночное освещение

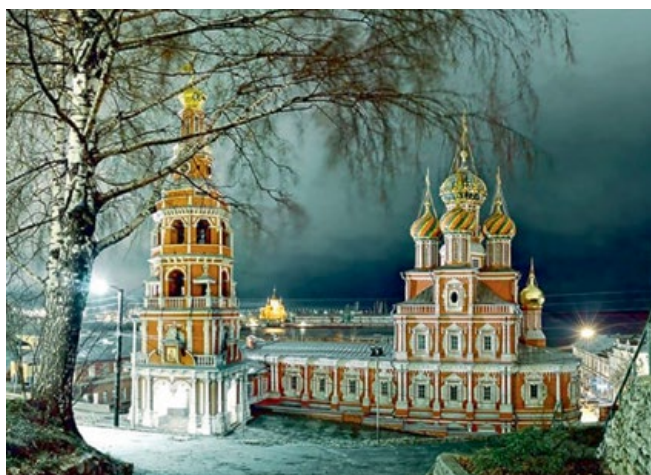


Рис. 15. Пример освещения Благовещенского монастыря Нижнего Новгорода

чаев весьма эффектная и вполне допустимая для светских объектов, переносится на освещение храмов, что не просто искажает восприятие, а полностью изменяет образ, например, делает его агрессивным, как это показано на рис. 11, или воспринимаемым лишь частично из-за точеч-

ного освещения (рис. 12), напрочь потерявшим форму или лубочно пёстрым (рис. 13), да ещё с меняющимся изображением, на фасаде Новочеркасского Свято-Вознесенского собора, или кружевным, как это сделано в Харькове при освещении церкви Богоявления редкого у нас визан-

тийского стиля, (рис. 14). Подобных примеров не счесть числа. У всех, как правило, два существенных недостатка:

- первый – стилистический, обусловленный желанием использовать стилистическую архитектурную экзотику для демонстрации возможностей современного светотехнического оборудования без учёта назначения объекта в сочетании с элементарным художественным невежеством, не скакать хуже – дурновкусьем;

- второй – технический, обусловленный неправильно выбранным для этих целей оборудованием и направлением освещения.

Здесь наиболее распространённая ошибка – это использование световых приборов прожекторного типа узконаправленного излучения, подчёркивающих контуры обводов, колонн, и т.п., установленных непосредственно на сооружении или его фрагментах. Например, отдельное освещение купола близко расположенными осветителями [15], ведущего к не оправданному искажению образа объекта, завышенному уровню освещённости на элементах сооружения и потере реального цветового восприятия в силу высокого цветового контраста, и, как следствие, зрительному дискомфорту.

Другая ошибка – это нижнее, относительно объекта, расположение осветителя, т.е. направленное вверх излучение, что при вполне качественном освещении объекта, (рис. 15), создаёт недопустимо высокий уровень яркости фона (неба), что по экологическим соображениям категорически запрещено международным стандартом «Black Sky». Не свободным от этого приёма оказываются даже лучшие образцы освещения храмов [16], хотя и сделано это предельно мягко.

## 2.2. Предлагаемый вариант решения задачи

Из сказанного следует, что внешнее освещение храма в тёмное время суток должно сохранять его восприятие при естественном дневном освещении, исключая любые засветки небесного свода и попадание излучения в глаза прохожих или просто прохожих.

Решение этой задачи возможно путём использования осветительных приборов проекторного типа достаточно высокой мощности до 40–60Вт,

расположенных на опорах (осветительных мачтах), размещённых вокруг храма вдоль пешеходных дорог, одновременно выполняющих функцию опор для их освещения, как это показано на рис. 16.

На этих опорах, расположенных по периметру храма (количество определяется периметром) на определённой высоте, обеспечивающей необходимый угол наклона, монтируются осветительные приборы, обеспечивающие освещение части строения, (рис. 16).

При этом площадь и форма сечения светового пучка должны полностью соответствовать с освещаемой поверхностью по площади и конфигурации, (рис. 16).

Конструкция таких световых приборов была разработана при выполнении проекта освещения «Джоконды» [2–5] и «Ники Самофракийской» в Лувре. Внешне прибор имеет вид, показанный на рис. 17.

Анализ представленной модели освещения храма показывает, что использование предлагаемого метода освещения позволяет сохранять зрительное восприятие объекта максимально близким к тому, что было заложено при проектировании.

Таким образом, система внешнего освещения храма должна содержать:

- адаптивный к уровню внешней освещённости уличный светодиодный мачтовый фонарь;
- специальный светодиодный проекторный осветитель;
- блок управления освещением.

### 2.3. Анализ составляющих компонентов системы

#### 2.3.1. Специальный светодиодный проекторный осветитель

Основу таких световых приборов составляют: мощный светодиод, эллипсоидный отражатель, диафрагма, роль которой выполняет позитивное перевёрнутое изображение части храма, видимое из точки проекции излучения на освещаемый фрагмент храма и проекционную конденсорную линзу, а также автономный источник питания и выносной блок управления.

Особенность работы такого осветителя заключается в формировании изображения освещаемой поверхности и его последующего совмещения

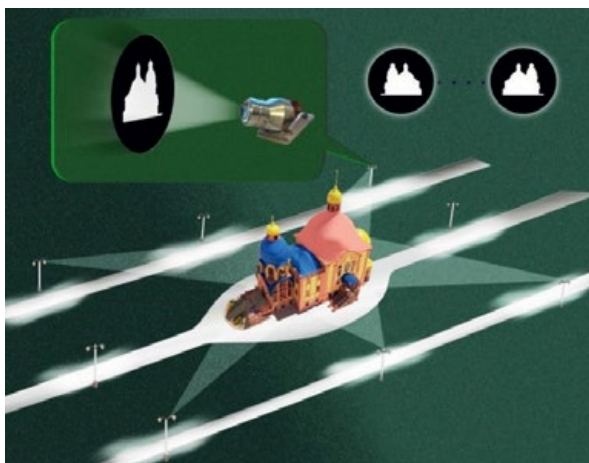


Рис. 16. Модель освещения храма проекционными световыми приборами



Рис. 17. Внешний вид прибора для освещения «Джоконды»

с обеспечением значительного уровня освещённости 30–40 лк на расстоянии не менее 15–20 м при относительно большого угла рассеяния сформированного светового пучка ( $\pm 25-30^\circ$ ). При этом, учитывая необходимость точного совмещения освещаемой поверхности с её изображением, следует обеспечивать достаточно точную настройку прибора, используя вертикальное и горизонтальное перемещение и поворот вокруг оптической оси.

#### 2.3.2. Блок управления освещением

Как уже отмечалось, светильники, как для освещения дороги к храму, так и самого храма, опционально могут быть укомплектованы датчиками освещённости для автоматического включения/выключения при заходе/восходе солнца. Однако в данном случае целесообразно иметь для системы один единый блок управления, обеспечивающий не только адаптивную работу системы соответственно уровню внешнего освещения, но и обеспечивать режим работы системы по заданному алгоритму. Для реализации этой задачи система снабжена специальным блоком управления освещением. Внешний вид такого блока показан на рис. 18.



Рис. 18. Внешний вид блока управления

### 2.4. Освещение куполов и конфессиональных символов

Особое место в освещении храма занимает освещение куполов и конфессиональных символов. И если освещение куполов как монохромных, полихромных так и позолоченных, т.е. с большим коэффициентом отражения вполне укладывается в описанную в этой работе схему проекционного освещения через соответствующую форме объекта диафрагму, объединённую с другими элементами объекта, то освещение конфессиональных символов (креста, полумесяца, магендовида и т.п.), в силу их особой ориентации по сторонам света, требует отдельно установленных и соответствующим образом сориентированных осветителей. Причём, поскольку эти элементы, как правило, позолочены, и имеют высокий коэффициент отражения, их освещение, чтобы уравновесить возникающие блики, необходимо осуществлять с двух направлений каждой стороны символа. Интересным представляется также освещение этих символов изнутри, но в этом случае они должны иметь другую конструкцию и быть выполнены из других материалов. Насколько возможен такой отход от традиции, покажет время, но это уже другая работа.



1. Кеслер М.Ю. «Свет в архитектуре православного храма» // Светотехника. — 1995 г. — № 4–5. — С. 37–39.

2. Рекомендации по проектированию искусственного освещения. М. 1988 г.

3. СНиП 23–05–05 Естественное и искусственное освещение.

4. СН 4557–88 Санитарные нормы и правила ультрафиолетового излучения в производственных помещениях.

5. Аймат Р.Ф., Арана Ф.С., Пуйол Ж.Р., Сандовал, Х.Д. Новая методология выбора спектрального распределения источников света и их конструкции для использования в музеях с целью правильной экспозиции и сохранения произведений искусства // Светотехника. — 2015 — № 3. — С. 49–52.

6. Освещение Сикстинской капеллы. Highlymodern LED lighting for the Sistine Chapel. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=WpFV2Hs7rM>.

7. Новое освещение фрески Леонардо да Винчи «Тайная вечеря» на стене монастыря. URL: [www.k-to](http://www.k-to) (19.05.2015).

8. Аллаш Е.Х., Варга Д.С., Новаковский Л.Г. Модернизация световых приборов подвижного состава метрополитена // Светотехника. — 2014 — № 3. — С. 22–26.

9. Новаковский Л.Г., Королева Ю.Е., Мирас Ж-П. Устройство формирования светораспределения. Патент РФ № 2283986.

10. Новаковский Л.Г., Фонтанон М., Мирас Ж-П. Освещение «Моны Лизы» — новые световые решения // Светотехника. — 2005. — № 5. — С. 28–33.

11. Новаковский Л.Г., Фонтанон М., Мирас Ж-П., и др. «Мона Лиза» в новом свете // Полупроводниковая светотехника. — 2013. — № 4.

12. Новаковский Л.Г., Аллаш Е.Х., Мирас Ж-П. Световой прибор для формирования светового пучка. Патент на полезную модель № 159921.

13. Лукина Т.О., Пятигорский В.М. «Архитектурное освещение Свято-Данилова монастыря» // Светотехника. — 1997. — № 4. — С. 2–7.

14. Бурцева Н.Б., Судаков С.В., Черняк А.Ш. Архитектурное освещение Храма Преподобного Сергия Радонежского в г. Волгоград // Светотехника — 2002. — № 4. — С. 10–11.

15. Каратуев А.М., Максимов С.В. Архитектурное освещение Софийского собора в г. Пушкине // Светотехника. — 1999. — № 4. — С. 17–19.

16. Нарбони Р. Освещение западного фасада Собора Парижской богородицы // Светотехника. — 2004. — № 3. — С. 12–15.

## Правила оформления рукописей, подаваемых в журнал «Светотехника»

Журнал публикует неопубликованные нигде ранее результаты оригинальных исследований и обзорные статьи на русском языке по различным направлениям светотехники. Рукописи статей принимаются на русском и (или) английском языках.

Все авторы несут ответственность за содержание статьи.

Плата с авторов за публикацию не взимается, гонорар не выплачивается.

### Структура статьи

Статья должна иметь структуру IMRAD:

1. Название
2. Авторы
3. Аннотация
4. Ключевые слова
5. Введение (Introduction)
6. Методы (Methods)
7. Результаты (Results)
8. Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (Acknowledgement)
9. Дискуссия или заключение (Discussion)
10. Список литературы

В конце раздела «Введение» следует сформулировать основную цель и задачи работы.

### Список литературы

Научная статья является частью развивающейся мировой научной дискуссии, поэтому в списке литературы должно быть не менее 30% адекватных ссылок на публикации ведущих мировых научных изданий на английском языке, входящих в базы данных цитируемых международных агентств, например, Scopus и Web of Science. Среди ссылок на статьи из баз должны быть статьи, опубликованные не позднее двух–пяти лет назад.

### Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

Рецензенты дают заключение по следующим пунктам: а) соответству-

ет ли статья тематике журнала; б) является ли статья оригинальным исследованием или обзором; в) приведены ли в оригинальном исследовании четко сформулированные новые научные результаты; г) достаточно ли надежно обоснованы выводы статьи; д) понятно ли изложен материал статьи, соблюдено ли в ней единообразие в терминах и обозначениях; е) соблюдена ли структура IMRAD; ж) приведены ли ссылки на свежие данные и работы по теме, опубликованные в журналах, входящих в базы цитирования, например, Scopus и Web of Science.

В случае несоответствия тематике журнала, или отсутствия в статье сформулированного научного результата, или при значительном количестве выявленных фактических ошибок статья может быть отклонена от публикации без подробной рецензии.

При положительном заключении рецензентов, статья редактируется и отправляется в вёрстку. Редакция не согласовывает с авторами изменения и сокращения рукописи, имеющие редакционный характер и не затрагивающие принципиальных вопросов.

### Оформление статьи

#### Оформление списка авторов

Первыми указываются инициалы, затем фамилия. Если коллектив авторов включает сотрудников разных учреждений, следует указать место работы каждого автора сноской при фамилии автора. Хотя бы для одного автора должен быть указан адрес электронной почты для корреспонденции.

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронном виде.

#### Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоминания в тексте. Название иллюстра-



**Новаковский Леонид Григорьевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 1969 г. МАМИ. Директор ЗАО «ФАРОС-АЛЕФ»

ции или рисунка пишется после номера таблицы или рисунка.

Все графы в таблице имеют заголовки и разделяются вертикальными линиями. Сокращение слов в таблицах не допускается. При наличии в тексте одной таблицы таблица не нумеруется. Таблица без заголовка (что нежелательно) обозначается только словом «Таблица».

Авторам следует избегать повторения одних и тех же данных на рисунках, в таблицах и в тексте.

### Используемые сокращения

Следует избегать введения новой терминологии. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми (использоваться физические величины, единицы и обозначения, в частности, принятые в Международной системе СИ, Международном светотехническом словаре (М.: Русский язык, 1979)), Справочной книге по светотехнике (3-е изд.) 2006 г.

Все употребляемые в статье обозначения (за исключением общеизвестных констант типа  $e$ ,  $h$ ,  $c$ ,  $\pi$  и т.п.) и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте, с учётом следующих принятых в журнале сокращений:

ВД – высокое давление  
ВЧ – высокая частота  
ГЛН – галогенная лампа накаливания  
ГЛН НН – ГЛН низкого напряжения  
ЗУ – зажигающее устройство  
ИЗУ – импульсное зажигающее устройство  
ИК – инфракрасный  
ИС – источник света  
КЕО – коэффициент естественной освещённости  
КЛЛ – компактная люминесцентная лампа  
КПД – коэффициент полезного действия  
КСС – кривая силы света  
ЛН – лампа накаливания  
ЛЛ – люминесцентная лампа  
МГЛ – металлогалогенная лампа  
НЛ – натриевая лампа  
НЛВД – НЛ высокого давления  
НД – низкое давление  
НЛНД – НЛ низкого давления  
НН – низкое напряжение  
НО – наружное освещение

ОП – осветительный прибор  
ОСД – органический светодиод  
ОУ – осветительная установка  
ПРА – пускорегулирующий аппарат  
РЛ – разрядная лампа  
РЛВД – разрядная лампа высокого давления  
СВД – сверхвысокое давление  
СВЧ-лампа – сверхвысокочастотная лампа  
СД – светодиод  
СДЛ – светодиодная лампа  
СДМ – светодиодный модуль  
СП – световой прибор  
УФ – ультрафиолетовый  
ЭмПРА – электромагнитный ПРА  
ЭПРА – электронный ПРА  
ЭУ – электроустановочное устройство  
 $\lambda$  – длина волны  
 $\eta_v$  – световая отдача (источника света)  
 $T_{ц}$  – цветовая температура  
 $T_{кц}$  – коррелированная цветовая температура (КЦТ)  
 $R_a$  – общий индекс цветопередачи  
 $\Phi_e$  – поток излучения  
 $\Phi_v$  – световой поток  
 $I_v$  – сила света  
 $L_v$  – яркость  
 $E_v$  – освещённость  
 $V(\lambda)$  – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного зрения.

### Оформление списка литературы

Источниками данных предпочтительно указывать не сообщения частных лиц или организаций, а публикации в научной литературе.

Нежелательно давать ссылки на труднодоступные широкому читателю издания (например, на труды студенческих и ведомственных конференций). К ссылкам на материал из Интернета следует указывать дату последнего обращения к материалу.

Библиографические ссылки оформляются с учётом ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Например:

*Мешков В.В., Матвеев А.Б.* Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов: В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.

*Шуберт Ф.* Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. –

2-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.;

Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

*Kokoschka, S.* Zur Berechnung von Schwellenkontrasten für die Detektion einfacher Schobjekte // Licht. – 1988. – 40, № 4. – S. 305–308.

*Никифоров Б.Н.* Новое в светотехнике подводных лодок // Светотехника. – 2001. – № 3. – С. 25.

*Каршенбойм С.Г.* Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДА-ТА2006) // УФН. – 2008. – Т. 178, № 10. – С. 1057–1064.

Патент РФ № 2159021, 04.12.2000.

*Сысун В.В.* Светомаскировочная фара на светодиодах / Патент России № 2266466. 2005. Бюл. № 35.

*Малышев В.В.* Повышение эффективности облучательных установок для теплиц / Автореф. дис. ... к-та техн. наук. – М.: ГНУ «ВИЭСХ», 2007.

Официальные периодические издания: электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб], 2005–2007. URL: [www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html](http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html) (дата обращения: 18.01.2007).

### Форма приёма статьи

Максимально допустимый объём статьи, как правило, – 12 машинописных страниц формата А4. Статья представляется в электронном виде, расширение имени файла – doc или docx, шрифт Times New Roman, размер шрифта – 12, междустрочный интервал – 1,5, поля – верхнее и нижнее – 2, левое – 3, правое – 1,5.

Если статья подаётся на русском языке, все подписи на всех рисунках должны быть на русском языке.

Предпочтительные форматы рисунков: jpg, png, tif, tiff, pdf. Оригиналы рисунков в максимально высоком имеющемся у авторов качестве должны быть приложены отдельными файлами. Для векторных изображений желательно приложить оригинал в векторном формате. Графики, созданные в MS Excel, допускается передавать в документе MS Word вместе с текстом статьи.

# Здания ночью: взаимосвязь наружного освещения и зрительной привлекательности\*

Д.Ж. ВАЗИФЕХДАН<sup>1</sup>, М. ДЖ. МАХДАВИНЬЯД<sup>2</sup>, Ф. НИКЮДЕЛ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Делфтский технический университет, Нидерланды

<sup>2</sup> Университет Тарбиат Модарес, Тегеран, Иран

E-mail: mahdavinejad@modares.ac.ir

## Аннотация

Наружное освещение зданий и их ночной облик являются важными составляющими архитектурного проекта. В то время как влияние естественного освещения на облик зданий не может полностью контролироваться проектировщиком ночное освещение зданий, способное сильно повлиять на его привлекательность, выбирается именно проектировщиком. В данной работе проведено исследование влияния наружного освещения на облик зданий в ночное время, в основу которого были положены ответы респондентов и всесторонний статистический анализ полученных результатов. Целью исследования было определение того, как наружное освещение и его параметры — освещённость (низкая или высокая), многоцветность (один или несколько цветов), вид (акцентирующее или равномерное) и сочетаемость (гармоничное или негармоничное) — влияют на восприятие красоты фасада здания в ночное время. Полученные результаты говорят о том, что наружное освещение зданий значительно увеличивает красоту фасадов в ночное время. Здание становится более красивым при использовании одноцветного акцентирующего освещения, гармонирующего с фасадом здания и обеспечивающего высокую освещённость. С другой стороны, использование многоцветного или равномерного освещения, обеспечивающего низкую освещённость и не гармонирующего с фасадом, отрицательно сказывается на привлекательности зданий. Кроме того, полученные результаты говорят о том, что освещённость и вид освещения влияют на привлекательность фасадов зданий сильнее, чем разнообразие цветов и условия освещения.

**Ключевые слова:** освещение, ночная архитектура, зрительная привлекательность.

## 1. Введение

Ночная архитектура — это понятие, связанное с тем, как наблюдатель воспринимает памятники архитектуры в ночное время [1, 2]. По мере увеличения урбанизации и интенсификации ночной жизни крупных городов возрастает потребность в красивом и привлекающем взгляд наружном освещении фасадов зданий [3–5]. Очевидно, что днём и ночью эстетика города воспринимается по-разному [7]. И демонстрация фасадов, объектов, скульптур и озеленённых пространств неотделима от их освещения. Наружное освещение памятников и зданий часто проектируется таким образом, чтобы усилить их привлекательность и обеспечить их однозначную идентификацию [4, 8].

Так как фасады зданий обеспечивают демонстрацию зданий и их связь с окружающим миром, то они оказывают влияние как на окружающее пространство, так и на живущих поблизости людей. Проектирование наружного освещения здания следует считать таким же важным, как и проектирование самого фасада здания. Привлекательное освещение может обеспечить уникальное восприятие здания наблюдателем и превратить обычное здание в туристическую достопримечательность. С другой стороны, непривлекательное наружное освещение способно превратить красивый памятник в нечто неприятное для глаза.

В этой работе проведено исследование влияния естественного и искусственного освещения на привлекательность зданий. Когда — при дневном естественном освещении или при ночном искусственном — здание выглядит более привлекательным? В работе исследовалось, как и в какой степени параметры искусственного освещения — освещённость, цвет и вид освещения — влияют на восприятие красоты здания.

В основу были положены полевые исследования, но вначале был проведён обзор литературных данных о наружном освещении и его влиянии на восприятие красоты. Затем на базе результатов обзора был составлен вопросник, позволяющий исследовать влияние искусственного и естественного освещения на облик зданий. Вопросники были заполнены группами участников с разными уровнями зрительной грамотности (*visual literacy*). Вопросники содержали сделанные днём и ночью фотографии фасадов выбранных случайным образом зданий, и участники должны были оценить привлекательность каждого из зданий по шкале от 1 до 5. Кроме того, участники должны были оценить влияние различных параметров освещения на внешний вид зданий. Для анализа качественных данных использовался пакет программ обработки статистических данных общественных наук (*SPSS*). Для оценки степени влияния естественного и искусственного наружного освещения на привлекательность зданий и памятников использовались семантическая дифференциация и биполярные прилагательные, позволяющие трансформировать качественные данные в количественные.

## 2. Роль света в человеческом восприятии

Свет обеспечивает возможность восприятия человеком его окружающей среды. Влияние света нельзя потрогать — его можно только почувствовать. Восприятие объекта зависит от его внешнего вида при попадании на него света, и разные люди по-разному воспринимают один и тот же объект [14].

Естественное освещение обеспечивает наилучшее восприятие окружающей среды [8]. Солнечный свет может равномерно освещать объекты, обеспечивая примерно одинаковую освещённость всех поверхностей. Это же можно сказать и о свете, отражённом объектами, который позволяет людям видеть эти объекты. С другой стороны, искусственное освещение может обеспечить разное восприятие, позволяя выделить часть объекта. Восприятие освещаемого искусственным светом объекта будет, скорее всего, отличаться от восприятия этого же объекта при естественном освещении.

\* Перевод с англ. Е.И. Розовского



## 2.1. Эстетика и влияние света на восприятие красоты

Освещение — это и техника, и искусство. Художественная составляющая освещения играет роль в обеспечении восприятия красоты. Эстетика представляет собой раздел философии, в основе которого лежат такие понятия, как красота и уродство. Она обеспечивает возможность улучшения понимания объектов и окружающей среды и позволяет изменять восприятие объекта [12]. Веками философы и художники уделяли внимание эстетике, как естественной, так и геометрической (рукотворной). С 18 века философы рассматривали эстетику в основном применительно к психологии и индивидуальному восприятию людей [18].

Эстетическая ценность объекта может быть воспринята, когда он демонстрируется наблюдателю сам по себе и побуждает наблюдателя почувствовать его красоту [17]. Свет служит средством для обеспечения этого восприятия и установления зрительной связи между наблюдателем и окружающей его средой [14]. И именно свет делает объекты видимыми для людей и позволяет им воспринимать окружающую среду и её элементы. Он необходим для восприятия красоты объектов.

## 2.2. Взаимосвязь цвета и света

С эстетической точки зрения, существенное значение имеет не только освещение, но и цвет [20]. Свет является одной из составляющих зрительного восприятия, способной стимулировать эмоции [15]. Воздействие света зависит, в частности, и от того, какой он: белый или цветной. Так как освещение играет значительную роль в восприятии окружающей среды, то цвет света можно использовать для воздействия на это восприятие. Психологическое воздействие цвета может изменять исходные характеристики объекта и его элементов для создания атмосферы расслабленности и умиротворённости, способствующей лучшему восприятию красоты. Использование цветных источников света позволяет людям видеть всё разнообразие объектов и их элементов без изменения их конструктивной формы [9].

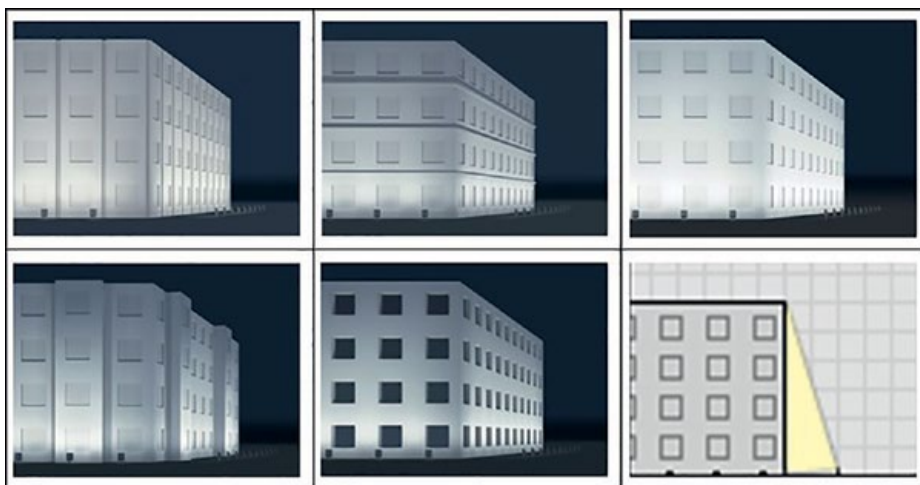


Рис. 1. Равномерное освещение фасадов [21]

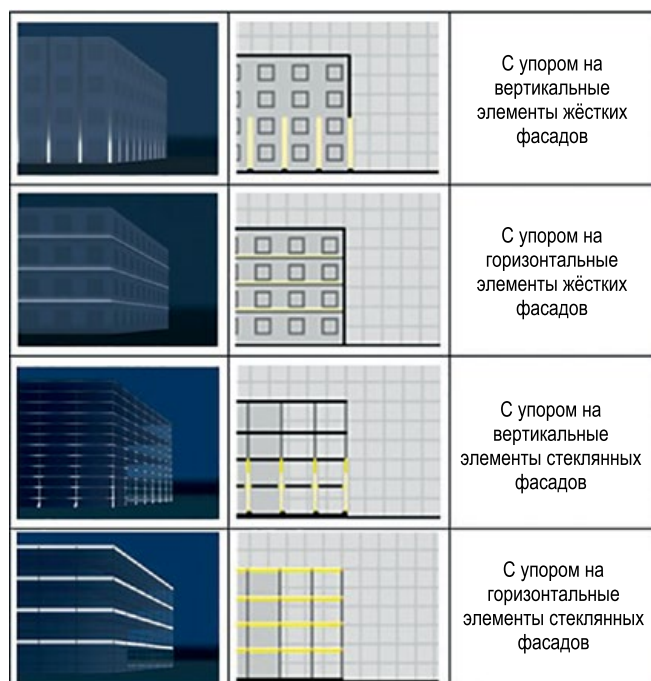
## 2.3. Инновационное освещение

Свет необходим для обеспечения возможности зрительного восприятия окружающей наблюдателя среды. Освещение и архитектура взаимосвязаны. Свет подобен душе, позволяющей оживить здание [19]. Освещение, как естественное, так и искусственное, часто влияет на восприятие архитектуры здания. Оно способно усилить впечатление от архитектуры объекта или его элемента, позволяя продемонстрировать архитектуру здания и придавая своеобразие окружающему пространству. Освещение, которое архитектор считает полезным для здания днём или ночью, влияет на атмосферу вокруг здания и формирует его ментальное отражение [7].

Освещение может служить для выделения пространства, здания или его элемента. Оно может выделять или скрадывать архитектурные элементы здания [2]. Освещение обычно применяется, чтобы усилить красоту и своеобразие городских пространств. Вертикальные панели фасадов зданий обеспечивают восприятие городских площадей и улиц. Ночное освещение фасадов способно изменять атмосферу городов и формировать привлекательные виды.

Морфологические и функциональные характеристики здания влияют на проектирование его освещения. Памятники, имеющие сложную архитектуру и многочисленные декоративные элементы, следует освещать так, чтобы контраст между затенён-

Рис. 2. Акцентирующее освещение вертикальных и горизонтальных элементов жёстких и стеклянных фасадов [21]







ными и ярко освещёнными участками позволяя рассмотреть как мелкие, так и крупные детали памятника и высветить его декоративные элементы. Мощность источника света не должна приводить к чрезмерному затенению некоторых участков (в первую очередь, деталей памятника).

### 2.3. Ночная архитектура

Наружное освещение фасада здания выявляет ночную архитектуру этого здания [2, 3]. Здания имеют разные архитектуру и назначение, и точно так же различаются и их освещение. Освещение зависит от архитектурного стиля здания и его внешних характеристик. Каждое здание имеет свои особенности, которые можно подчеркнуть при помощи подходящего освещения. Хорошее освещение должно также обеспечивать гармонию между зданием и его окружением.

На освещение фасада здания влияют тип фасада (жесткий или стеклянный) и способ освещения фасада. Воспринимаемая форма фасада определяется типом и формой применяемого материала, направлением падения и цветом падающего на фасад света. В дневное время фасад выглядит по-разному из-за изменения как угла падения, так и спектрального состава света. В разное время дня наблюдатель по-разному воспринимает фасад одного и того же здания. Ночью фасад выглядит совсем не так, как днём. Выделение отдельных элементов и участков фасада и изменение цвета света, предусмотренные проектом освещения, изменяют внешность фасада в ночное время. Существуют три способа, которые следует рассматривать при проектировании освещения конкретного фасада и его деталей: равномерное освещение поверхностей здания, выделение значимых элементов здания (акцентирующее освещение) и формирование привлекательности и зрительного разнообразия [13].

При равномерном освещении разные уровни фасада освещаются равномерно. Эти уровни могут быть горизонтальными, вертикальными, наклонными, искривлёнными или выпуклыми (например, купола). Выбор равномерно освещаемого уровня зависит от архитектуры и назначения здания и его окружения. Фасады, которые освещаются равномерно

Рис. 4. Процент зданий, с разным уровнем достоверности подтверждающих предположение об их одинаковой привлекательности в дневное и ночное время

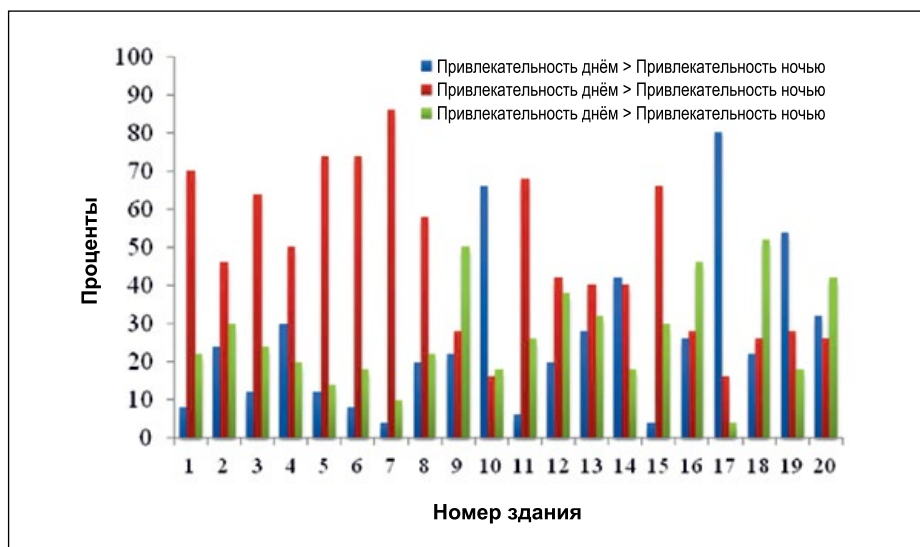


Рис. 5. Оценка привлекательности зданий в дневное и ночное время

без различий в контрастности разных уровней, выглядят плоскими и двумерными. Для создания такого равномерного освещения свет должен проецироваться с расстояния, предусматривающего широкий угол излучения. Такое освещение делает видимым весь фасад здания. Примеры равномерного освещения фасадов зданий приведены на рис. 1.

Акцентирующее освещение подчёркивает и выделяет элементы фасада. Эти элементы могут быть горизонтальными, вертикальными или особыми архитектурными деталями здания, такими как текстура, материал, конструкция, окна или такие особенности, как часы, скульптуры или орнамент. Для выделения элемента свет проецируется на него с небольшого расстояния. Это формирует контраст между этим элементом и фоном (остальной частью фасада). Другим способом выделения элемента является освещение всего фасада и высветивание конкретного элемента, так, что-

бы он выделялся на фоне остальной части фасада. Примеры акцентирующего освещения приведены на рис. 2.

Привлекательность и зрительное разнообразие очень важны для ночной архитектуры и освещения архитектурно значимых зданий. Привлекательность и зрительное разнообразие можно обеспечить посредством проецирования на фасад блуждающих цветных пятен света или картинок. Многоцветное освещение, в котором могут использоваться как приглушённые оттенки, так и основные цвета, может сделать фасад более привлекательным. Однако несмотря на то, что цветное освещение (по сравнению с освещением белым светом) способно усилить привлекательность здания, оно не обязательно увеличивает красоту фасада.

### 3. Методика исследования

Для исследования влияния естественного и искусственного освеще-



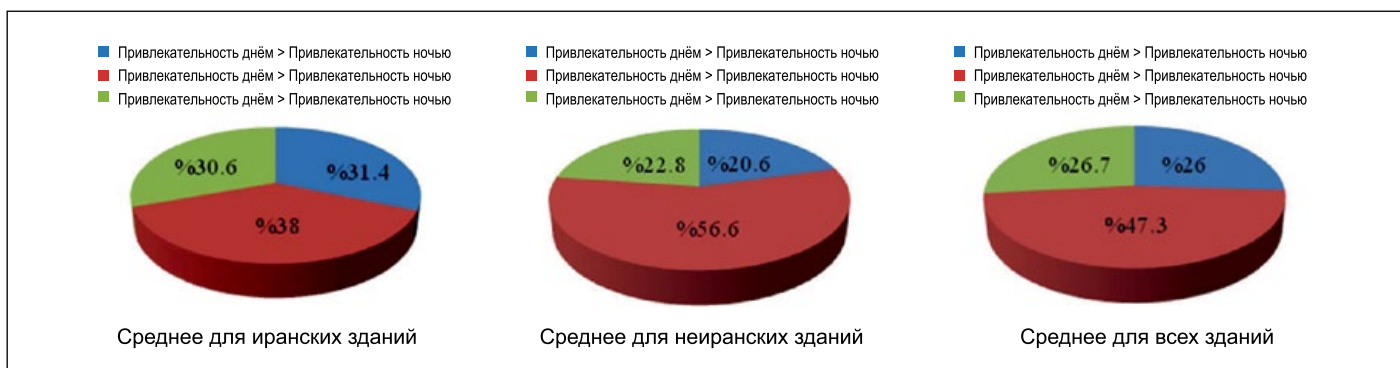


Рис. 6. Усреднённые оценки привлекательности зданий в дневное и ночное время

Таблица 1

### Здания, выбранные для проведения исследования

№ здания	Название здания	Местоположение
1	Здание компании «Дженерал электрик»	США
2	Здание компании «Крайслер»	США
3	Башни Петронас	Малайзия
4	Отель Хабтур Гранд Бич Резорт	ОАЭ
5	Башня Джона Ханкока	США
6	Здание правительства	Азербайджан
7	Отель «Шератон София»	Болгария
8	Здание Организации объединённых наций	США
9	Дом черноголовых	Латвия
10	Дворец культуры и науки	Польша
11	Отель «Гаср Талае»	Иран
12	Отель «Эстенгаль»	Иран
13	Отель «Лалех»	Иран
14	Торговый центр «Абресан»	Иран
15	Отель «Сетарех»	Иран
16	Сад Шасде	Иран
17	Дворец <i>Shamsolemareh</i>	Иран
18	Площадь <i>Mir Chakhmagh</i>	Иран
19	Памятник Азади	Иран
20	Дворец Али Куапу	Иран

ния на восприятие красоты зданий был сформирован вопросник, позволявший провести полевые исследования. Вопросник содержал сделанные днём и ночью фотографии фасадов 20 выбранных случайным образом зданий. Он был использован для сбора данных применительно к статистическому обществу, состоящему из 50 человек, которые представляли три группы людей: 10 студентов специальности «градостроительное проектирование», 15 студентов специальности «архитектурное проектирование»

и 25 обычных людей, имеющих разное образование. Ожидалось, что благодаря различиям в образовании и специализации члены разных групп будут иметь разные критерии оценки привлекательности зданий. Это даёт уверенность в правильности полученных результатов.

Участники должны были оценить красоту каждого из зданий по шкале от 1 до 5 и влияние различных параметров освещения на внешний вид зданий. Для анализа качественных данных использовался пакет

программ обработки статистических данных общественных наук (*SPSS*). Для оценки степени влияния естественного освещения и искусственного наружного освещения на привлекательность зданий и памятников использовались семантическая дифференциация и биполярные прилагательные, позволяющие трансформировать качественные данные в количественные.

### 3.1. Выбранные для вопросника здания

В качестве объектов для ответов на вопросы были случайным образом выбраны 20 зданий. Эти здания представляют собой освещаемые разными способами памятники архитектуры. Десять из них находятся в Иране, а остальные – в других странах (США, Малайзии, ОАЭ, Азербайджане, Болгарии, Латвии и Польше).

Эти здания хорошо известны благодаря своей архитектурной ценности или являются по-разному освещаемыми памятниками. Помимо анализа влияния освещения на привлекательность зданий в ночное время, было проведено и исследование влияния естественного освещения. Это позволило провести сравнение влияния искусственного и естественного освещения на восприятие красоты зданий.

### 3.2. Структура вопросника

Вопросник содержал сделанные днём и ночью фотографии зданий. Участники должны были оценить красоту каждого из зданий при естественном и искусственном освещении. Оценки были основаны на пятибалльной шкале Лайкерта (очень низкая, низкая, средняя, высокая и очень высокая оценки).

В случае искусственного ночного освещения, участники должны были оценить ещё и параметры освещения: освещённость, а также цвет, равномерность и гармоничность освещения. Была собрана вся информация как о привлекательности зданий в ночное и дневное время, так и о влиянии различных параметров освещения на общую привлекательность зданий. Используемый при проведении исследований вопросник приведён на рис. 3.

#### 4. Анализ данных и статистический анализ

##### 4.1. Достоверность данных

Правильность составления вопросника и достоверность данных, полученных в результате опроса участников, вначале определялись при помощи альфы Кронбаха. Если значение альфы Кронбаха превышает 0,7, то вопросник можно считать правильным, а полученные данные – достоверными. В ином случае все заключения, сделанные на основе полученных данных, будут недостоверными. Оценка каждого из зданий осуществлялась с использованием шести вопросов, так что общее количество вопросов (переменных) было равно 120. Анализ полученных данных производился при помощи пакета программ обработки статистических данных общественных наук (SPSS). Рассчитанное значение альфы Кронбаха оказалось равным 0,816, что говорит о правильности вопросника и достоверности полученных данных.

##### 4.2. Привлекательность фасадов в дневное и ночное время

Для основанной на полученных данных оценки привлекательности зданий в ночное время был использован критерий Уилкоксона. Это статистический критерий, пригодный для определения степени корреляции между переменными. Его можно использовать для определения коэффициента коэволюации двух переменных. Абсолютное значение этого коэффициента отражает степень корреляции переменных, а его знак указывает на то, как эти две переменные коррелируют друг с другом. Все полученные данные должны выражаться количественно.

Рис. 7. Усреднённые оценки привлекательности отдельных зданий в дневное и ночное время

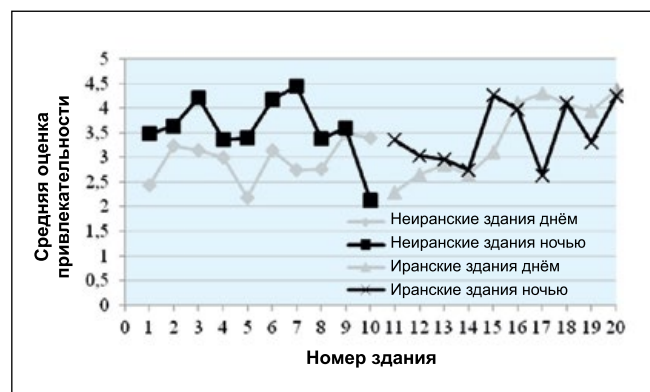
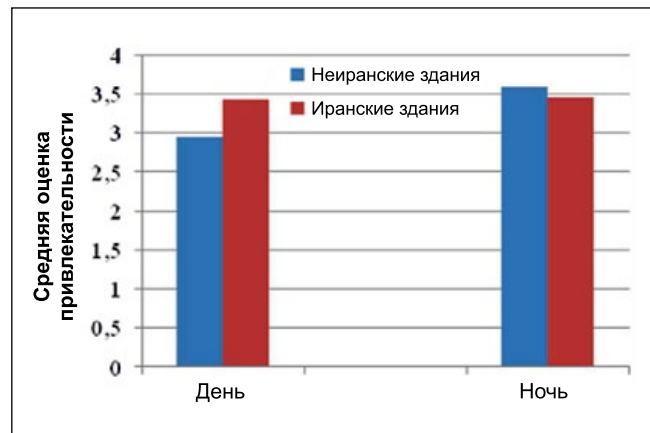


Рис. 8. Усреднённые оценки привлекательности иранских и неиранских зданий в дневное и ночное время



Вначале была определена справедливость гипотезы «здания одинаково красивы и днём, и ночью». Достоверность этого утверждения была оценена применительно к каждому из зданий, после чего был определён процент зданий, для которых это утверждение оказалось справедливым. Результаты анализа представлены на рис. 4 для разных уровней достоверности. Уровень достоверности отражает степень уверенности в правильности полученных результатов. Было установлено, что при уровне 99% более половины зданий были сочтены одинаково привлекательными и днём, и ночью. При 95% равнопривлекательными были сочтены менее половины зданий, а при 90% – только 30% зданий. На всех трёх уровнях лишь небольшой процент зданий имели разный уровень привлекательности в дневное и ночное время.

На рис. 5 приведена степень схожести привлекательности каждого из зданий при естественном и искусственном освещении. На рис. 6 для каждой группы зданий и для всех зданий в целом приведена средняя степень схожести. Полученные результаты говорят о том, что, по мнению большинства участников, ночное натурное освещение делает большин-

ство зданий более привлекательными, чем при естественном освещении. Это наблюдение подтверждается рис. 7, на котором приведены средние значения оценок привлекательности отдельных зданий в дневное и ночное время.

Результаты, приведённые на рис. 8, говорят о том, что ночное искусственное освещение увеличило привлекательность неиранских зданий сильнее, чем привлекательность иранских зданий. При естественном освещении иранские здания воспринимались участниками (все участники были иранцами) как более красивые, чем неиранские здания, тогда как при ночном освещении входящие в обе группы здания оценивались одинаково.

##### 4.3. Влияние параметров освещения на привлекательность фасадов в ночное время

Параметры освещения влияют на ночную привлекательность зданий. К этим параметрам относятся освещённость, используемые цвета, равномерность и гармоничность освещения здания. Полученные результаты продемонстрировали значимую связь между привлекательностью зданий и каждым из этих параметров

**Коэффициенты Спирмана для параметров освещения и степени зрительной привлекательности зданий. Незаполненные ячейки соответствуют отсутствию ответов с уровнем значимости 90%**

№ здания	Освещённость	Многокрасочность	Равномерность освещения	Гармоничность освещения
1	0,265	0,240		
2	0,241		-0,317	
3	0,283			
4				-0,262
5			-0,296	
6		-0,369		
7	0,453			
8				
9			0,241	
10	-0,315			
11			-0,364	
12				
13	0,455		-0,286	
14			-0,292	
15	0,440			
16		-0,269		-0,405
17		-0,303		-0,435
18		-0,584		-0,461
19				
20				
Среднее значение коэффициента Спирмана	0,260	-0,257	-0,219	-0,390

(90%-схожесть результатов считалась демонстрацией значимой связи).

Для выявления наличия такой связи в случаях отдельных зданий использовался коэффициент Спирмана. Этот коэффициент отражает степень корреляции между двумя случайными переменными. Он может принимать значения от  $-1$  до  $1$ . Если коэффициент Спирмана, полученный для двух переменных, равен  $1$ , то эти две переменные непосредственно связаны друг с другом: при увеличении значения одной из переменных увеличивается и значение другой. Если этот коэффициент равен  $-1$ , то это значит, что между этими переменными существует обратная связь: при увеличении значения одной из переменных значение другой уменьшается. Равенство этого коэффициента нулю означает отсутствие корреляции между двумя рассматриваемыми переменными.

Результаты этого анализа (табл. 2) говорят о том, что корреляция между параметрами освещения и привлекательностью фасадов в ночное время изменяется от здания к зданию. Так как при помощи коэффициента Спирмана было установлено наличие значимой корреляции, то можно утверждать, что привлекательность фасадов больше зависит от способа освещения (равномерное или акцентирующее), чем от цвета освещения или гармонии между освещением и зданием. Этот вывод основан на том, что корреляция между привлекательностью фасада и способом освещения наблюдалась у большинства зданий.

Усреднение коэффициентов корреляции показало, что привлекательность фасада непосредственно связана с освещённостью. При увеличении освещённости здание выглядит более красивым. Было установлено, что

привлекательность фасада обратно пропорциональна разноцветности света. При использовании одноцветного освещения здание выглядело более красивым, чем при использовании многоцветного. Если говорить о видах освещения, то акцентирующее освещение увеличивало привлекательность фасада по сравнению со случаем равномерного освещения. Что касается гармоничности освещения, то гармония между освещением и зданием также увеличивает привлекательность фасада в ночное время по сравнению со случаем отсутствия гармонии.

## 5. Выводы

Настоящее исследование было посвящено изучению влияния инновационного освещения и его параметров на восприятие красоты зданий в ночное время. При этом рассматривались



следующие параметры: освещённость (низкая или высокая), многоцветность (один или несколько цветов), вид (акцентирующее или равномерное) и сочетаемость (гармоничное или негармоничное). Исследование проводилось при помощи вопросника, который заполнили 50 участников, разделённых на группы из 10 студентов специальности «градостроительное проектирование», 15 студентов специальности «архитектурное проектирование» и 25 обычных людей, имеющих разное образование. Вопросник требовал от участников классифицировать как красоту 20 зданий в ночное (искусственное освещение) и дневное (естественное освещение) время, так и влияние различных параметров освещения на привлекательность фасадов зданий в ночное время. Для проведения исследования были выбраны группа иранских зданий и группа неиранских зданий. Результаты были проанализированы при помощи пакета программ обработки статистических данных общественных наук, что позволило сделать значимые научные выводы.

Результаты анализа показали, что при ночном искусственном освещении здания выглядели более красивыми, чем при естественном. В случае неиранских зданий это проявлялось более явно, чем в случае иранских. При естественном освещении иранские здания воспринимались иранскими участниками как более красивые, чем неиранские здания, тогда как при ночном освещении входящие в обе группы здания оценивались одинаково. Полученные результаты говорят также о том, что при увеличении освещённости или при использовании одноцветного освещения здания воспринимались ночью как более красивые. Акцентирующее освещение, при котором элементы или уровни фасада освещались селективно, также увеличивало привлекательность фасадов в ночное время по сравнению с равномерным освещением. Гармония между освещением и зданием также способствовала увеличению привлекательности фасадов. Освещённость и вид освещения (акцентирующее или равномерное) влияли на привлекательность фасадов сильнее, чем два других параметра.

Результаты этого исследования говорят о том, что правильная органи-

зация освещения способна сильно влиять на привлекательность зданий. Хотя для архитекторов важное значение имеют конструкция фасада и его внешний вид в дневное время, не менее важное значение имеет и внешний вид фасада в ночное время. Это требует научного и новаторского подхода к проектированию наружного освещения зданий.

Авторы хотели бы поблагодарить г-жу Сейде Фатеме Мирхосейни (*Seyedeh Fatemeh Mirhosseini*) за помощь и поддержку.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Neumann, D.* Architecture of the Night. The Illuminated Building, Prestel Publishing, August 2002.
2. *Russell, S.* The Architecture of Light – Architectural Lighting Design Concepts and Techniques, Conceptnine, 2012.
3. *Schivelbusch, W., Davies, A.* Disenchanted Night: The Industrialization of Light in the Nineteenth Century. University of California Press, December 1995.
4. *Bean, A.R.* Lighting: Interior and Exterior. Routledge, March 2004.
5. *Cuttle, C.* Lighting by Design. Routledge, November 2008.
6. *Cuttle, C.* Lighting Design: A Perception-Based Approach. Routledge, April 2015.
7. *Heard, F.W., Stone, F.H., Jewess, B.W.* Effect of Atmospheric Attenuation on Exterior Lighting Design // Lighting Research and Technology. – 1976. – Vol. 8, No. 12.
8. *Brandt, U.* Lighting for Cities. Birkhäuser Architecture. 2006.
9. *Mahnke, F.H.* Color, Environment, and Human Response: An Interdisciplinary Understanding of Color and Its Use as a Beneficial Element in the Design of the Architectural Environment. Wiley, April 1996.
10. *Karlen, M., Benya, J.R., Spangler, C.* Lighting Design Basics. Wiley, April 2012.
11. *Anrys, F., Dutre, P.* Lighting Design by Simulated Annealing. Tech. Rep. CW393, Katholieke Universiteit Leuven, 2004.
12. *Volf, C.* Light and the Aesthetics of Perception // The Nordic Journal of Aesthetics. – 2011. – Vol. 22.
13. *Loe, D.L., Rowlands, E.* The Art and Science of Lighting: A Strategy for Lighting Design // Lighting Research and Technology. – 1996. – Vol. 28, No. 4.
14. *Jay, P.A.* Lighting and Visual Perception // Lighting Research and Technology. – 1971. – Vol. 3, No. 2.
15. *Lynes, J.A.* Lightness, Colour and Constancy in Lighting Design // Lighting Research and Technology. – 1971. – Vol. 3, No. 1.

16. *Valentine, J.M.* An Introduction to Beginning Aesthetics. The Philosophy of Art. McGraw-Hill, 2006.

17. *Shimura, A.P., Palmer, S.E.* Aesthetic Science: Connecting Minds, Brains, and Experience. Oxford University Press, January 2012.

18. *Gethmann-Siefert, A.* Introduction to Aesthetics (Einführung in die Ästhetik). – Munich: Wilhelm Fink, 1995.

19. *Major M.D. (Goodreads Author).* Made of Light: The Art of Light and Architecture. Princeton Architectural Press, September 2005.

20. *Babbitt, E.D.* Principles of Light and Color. Kessinger Publishing, June 1998.

21. URL: [www.erco.com](http://www.erco.com).



**Джавад Вазифехдан (Javad Vazifehdan), Ph.D.** (2011 г.). Приглашённый научный сотрудник Делфтского технического университета, Нидерланды, и руководитель проекта

компании ASML. Автор и соавтор многочисленных научных статей и рецензент ряда престижных международных журналов



**Мохаммаджават Махдавиньяд (Mohammadjavah Mahdavinijad), Ph.D.** (2011 г.). Доцент архитектурного факультета и руководитель лаборатории современной архитектуры Университета Тарбиат Модарес, Тегеран, Иран. Автор, переводчик и редактор более ста научных статей и двадцати книг. Лауреат нескольких национальных и международных архитектурных конкурсов. В 2009, 2010, 2012 и 2014 гг. Министерство науки и техники признало его наиболее цитируемым автором в области архитектуры.

менной архитектуры Университета Тарбиат Модарес, Тегеран, Иран. Автор, переводчик и редактор более ста научных статей и двадцати книг. Лауреат нескольких национальных и международных архитектурных конкурсов. В 2009, 2010, 2012 и 2014 гг. Министерство науки и техники признало его наиболее цитируемым автором в области архитектуры.



**Фохиме Никудел (Fahimeh Nikoudel), B.Sc.** (2008 г.), M.Sc. (2015 г.). Участник в выполнении нескольких национальных и местных архитектурных проектов. Область научных интересов: освещение

научных интересов: освещение

# Дальность видимости сигнальных светодиодных огней

В. И. АНИСИМОВ<sup>1</sup>, В. П. БУДАК<sup>2</sup>, В. В. ЖУКОВ<sup>1</sup>, Г. А. КАЛОШИН<sup>3</sup>,  
С. А. ШИШКИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup> НИИ «ЭКРАН», Самара;

<sup>2</sup> НИУ «МЭИ», Москва;

<sup>3</sup> Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск

E-mail: gkaloshin@iao.ru

## Аннотация

Приводятся результаты расчётов минимально необходимой для уверенного зрительного обнаружения силы света сигнальных светодиодных огней (СДО) взлётно-посадочной полосы (ВПП) в реальных условиях эксплуатации. Рассмотрены основные варианты СДО ВПП: входные; посадочные последних 600 м ВПП; ограничительные. Выбраны пороговые уровни обнаружения, дан анализ эффективности СДО ВПП в различных метеоусловиях ночью, в сумерках и днём, а также рассмотрены вопросы ступенчатой регулировки силы света СДО на 1, 3, 10, 30 и 100% в соответствии с нормами ИКАО (по результатам расчёта и анализа).

**Ключевые слова:** дальность видимости, сигнальные светодиодные огни, взлётно-посадочная полоса, пороговая освещённость, сила света, метеорологическая дальность видимости.

## 1. Введение

Применение светодиодов в светосигнальных огнях — наиболее передовое направление развития средств ориентирования и сигнализации транспортных средств. Это делает возможным создание новых светосигнальных систем, реализуемых на

светодиодных огнях (СДО), способных заменять энергозатратные и трудоёмкие в эксплуатации огни высокой интенсивности с обеспечением посадки самолётов в условиях I категории ИКАО.

Понимая перспективы развития светодиодных источников света, в авиации уделяется большое внимание их внедрению в светосигнальное оборудование аэропортов. В настоящее время в рамках совершенствования светотехнического оборудования аэродромов происходит глубокая модернизация имеющегося данного оборудования на взлётно-посадочных полосах (ВПП). При этом основной целью служит повышение эффективности и надёжности светосигнальных приборов, улучшение их светотехнических параметров (дальность видимости и различимость сигнальных показаний). Это ведёт к повышению безопасности полётов, снижению эргономической и психофизиологической нагрузок на экипаж при выполнении ответственных этапов полёта — взлёта и посадки.

Ниже приведены результаты расчётных оценок эффективности СДО ночью, в сумерках и днём в условиях плотных атмосферных дымок и тумана. При этом основное внимание уделено оценкам минимально необходимой для зрительного обнаружения

силы света СДО в реальных условиях эксплуатации.

## 2. Расчёт силы света

Вопросы зрительного восприятия групповых огней и методика расчёта параметров прямого и рассеянного излучений достаточно подробно рассмотрены, например, в работах [1–4]. В данной статье расчёт потребной силы света СДО проводился по схеме, аналогичной принятой в работе [4] для лазерных излучателей. (Тем самым считается, что цветные СД (не белые) — классические некогерентные квазимонохроматические излучатели.)

### 2.1. Схема расположения и параметры СДО

Основой для расчёта параметров излучения СДО служила схема, приведённая на рис. 1. СДО делятся на три группы: входные, зелёные (ALG), расположенные вдоль порога ВПП перпендикулярно оси; посадочные, жёлтые (ALY), расположенные по обе стороны ВПП; ограничительные, красные (ALR), расположенные вдоль границы ВПП перпендикулярно оси с противоположной от порога стороны ВПП. Параметры СДО приведены в табл. 1.

### 2.2. Методика расчёта

Минимально необходимая для уверенного зрительного обнаружения сила света СДО  $I$  определяется: метеорологической дальностью видимости (МДВ)  $S_m$ ; яркостью фона адаптации глаза наблюдателя  $L_\phi$ ; пиковой длиной волны излучения  $\lambda$ ; пороговым блеском  $E_n$  для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО); расстоянием обнаружения СДО  $D$ , то есть  $I = f(S_m, L_\phi, \lambda, E_n, D)$ .

Принятые значения этих величин таковы:  $D = (1,0–1,6)$  км при  $S_m = (0,8–10)$  км;  $L_\phi = (10^{-2}–10)$  кд/м<sup>2</sup> (сумерки),  $(10^{-4}–10^{-2})$  кд/м<sup>2</sup> (ночь) и  $(10–10^3)$  кд/м<sup>2</sup> (день).

В общем случае расчёт  $I$  СДО сводился к следующему:

- Задавались энергетические характеристики СДО,  $S_m$ , пороговые характеристики зрения и геометрия схемы размещения СДО и наблюдателя.

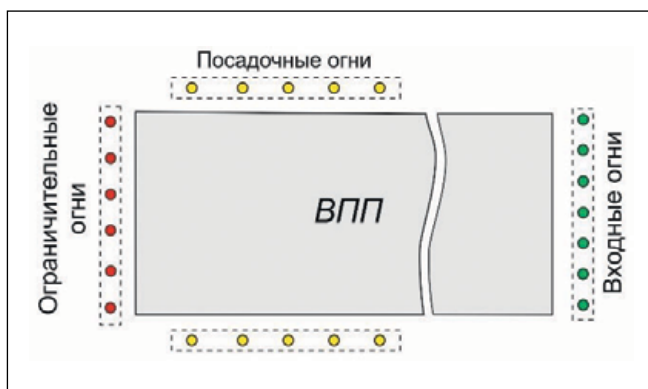


Рис. 1. Схема размещения СДО

Параметры излучения СДО

Параметр	Группа СДО		
	ALG	ALY	ALR
Сила света, кд	10000	10000	2500
Пиковая длина волны, мкм	0,53	0,58	0,62
Тип излучения	непрерывный		

• Рассчитывалась  $I$  (осевая) одиночного СДО из каждой группы СДО при разных его энергетических и спектральных характеристиках и условиях зрения (видимости). Расчёт вёлся в приближении однократного рассеяния излучения.

В качестве рассеивающей среды были выбраны континентальная атмосфера, характеризующаяся метеорологической дальностью видимости  $S_m$ , морская и прибрежная атмосфера, характеризующаяся скоростью и направлением ветра, разгоном волн, относительной влажностью, высотой, спектральным диапазоном излучения и диапазоном размеров частиц – это входные параметры для подпрограммы «MaexPro» [5–10]. Результат вычислений – спектральный коэффициент аэрозольного ослабления  $\sigma(\lambda)$ , равный  $3,92/S_m$ , и индикатриса рассеяния. Отметим, что основные энергетические потери оптического сигнала видимого диапазона при его распространении в приземном слое атмосферы во многом обусловлены аэрозольным ослаблением. Различия между коэффициентами аэрозольного ослабления и рассеяния не выходят за рамки инструментальных погрешностей. При этом, коэффициент аэрозольного поглощения в «MaexPro» определяется мнимой частью комплексного показателя преломления.

Дальнейший расчёт вёлся с помощью программы «Range» [11, 12], которая позволяет рассчитывать энергетическое ослабление излучения лазерных, светодиодных и «традиционных» источников света с учётом аэрозольного ослабления на трассах в приземном слое континентальной, морской и прибрежной атмосфер.

В качестве пороговых характеристик зрения для ночных и сумеречных условий наблюдения в статье были

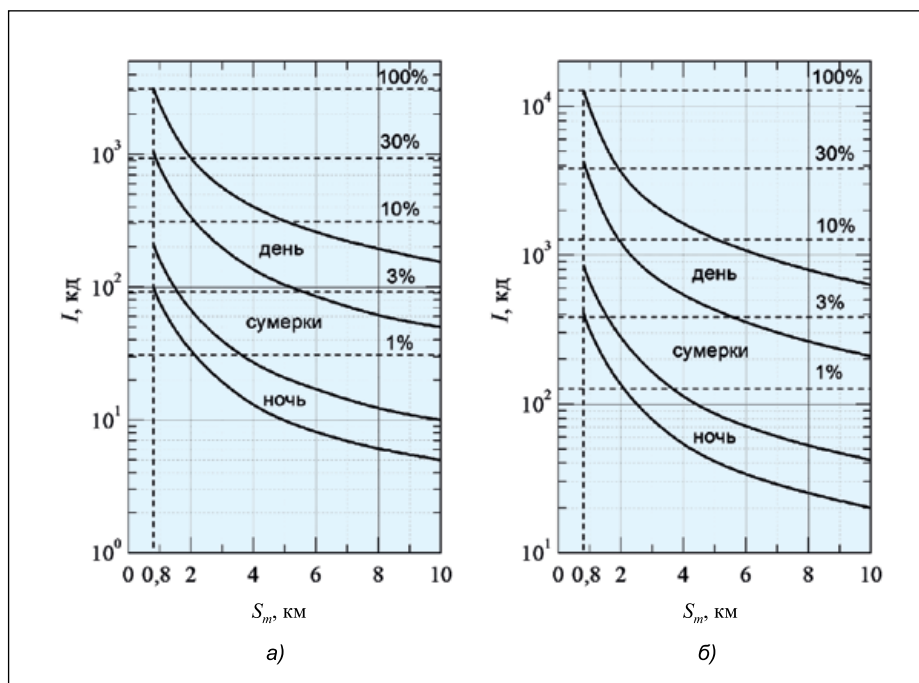


Рис. 2. К определению силы света  $I$  входных (зелёных) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

использованы нормативные данные ИКАО с учётом отечественных норм, как принятых в ГОИ, так и используемых при проектировании зрительных средств навигационного оборудования, с учётом рекомендаций УНИО МО РФ и МАМС [13–17].

Расчёт  $I$  одиночного СДО соответствующей группы СДО в зависимости от  $S_m$  осуществлялся в приближении однократного рассеяния по выражению

$$I = kE_n K_m V(\lambda) D^2 e^{3,92D/S_m} \times \left[ 1 + \frac{3,92D}{S_m} \int_0^{\pi/2} x(\varphi) d\varphi \right]^{-1},$$

где  $k$  – коэффициент запаса, равный 50 [1];  $E_n$  – пороговая освещённость, Вт/м<sup>2</sup>;  $K_m$  – максимальная спектраль-

ная световая эффективность для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО), лм/Вт;  $V(\lambda)$  – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного, сумеречного или ночного зрения (соответственно условиям наблюдения СДО) [2, 3];  $D$  – расстояние между СДО и наблюдателем, м;  $S_m$  – метеорологическая дальность видимости, м;  $x(\varphi)$  – индикатриса рассеяния. При этом  $V(\lambda)$  для сумеречного зрения считалась как среднее  $V(\lambda)$  для дневного и ночного зрения.

### 3. Результаты расчётов

#### 3.1. Входные СДО

На рис. 2 приведены результаты расчёта  $I$  от  $S_m$  одиночного СДО из



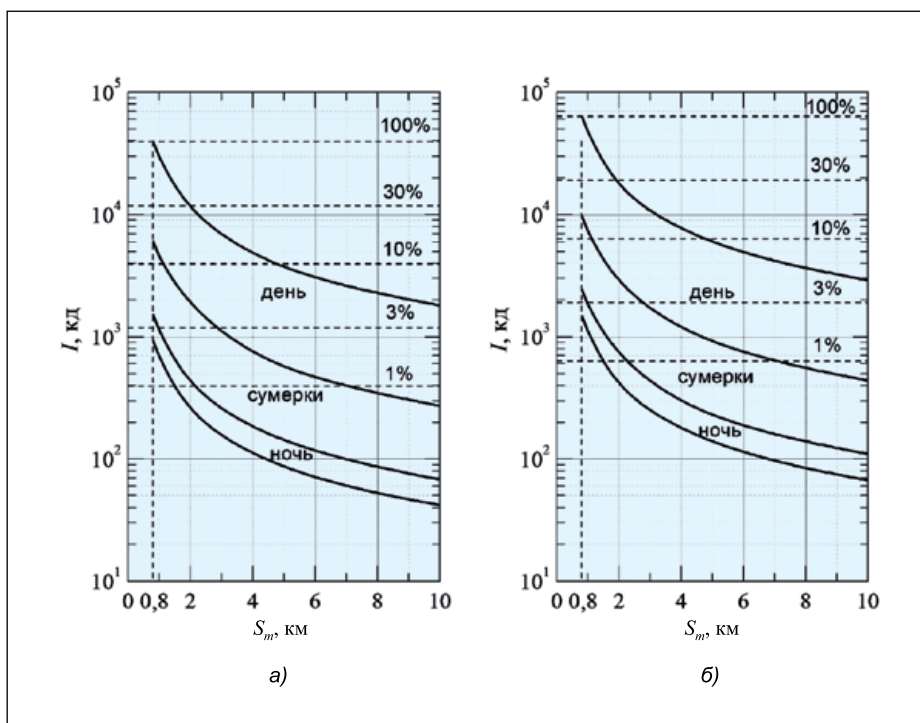


Рис. 3. К определению силы света / посадочных (жёлтых) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

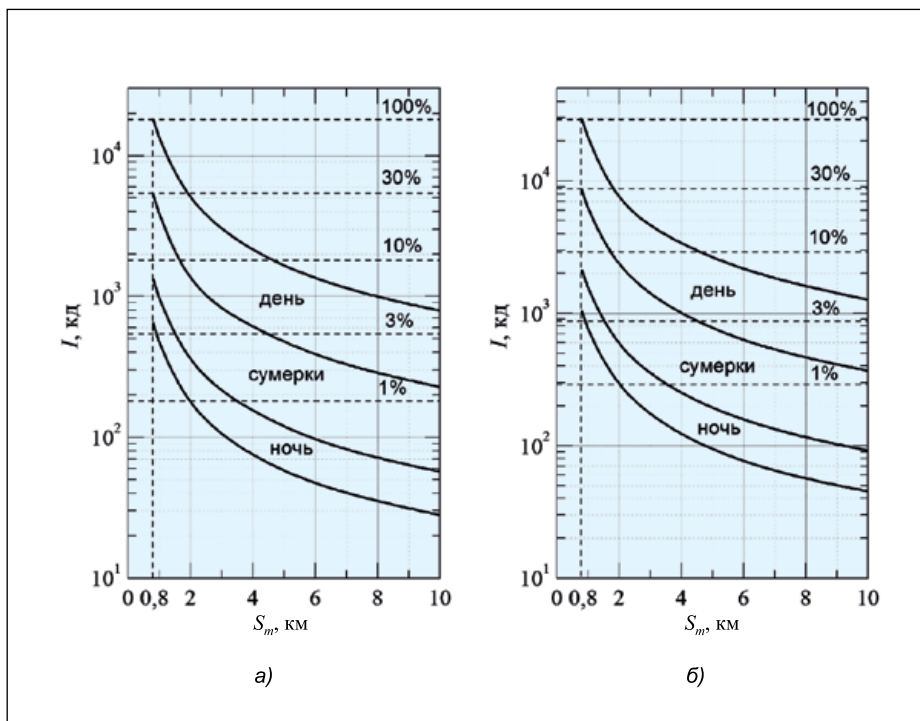


Рис. 4. К определению силы света / ограничительных (красных) СДО на удалениях от порога ВПП 1 (а) и 1,6 (б) км

группы входных (зелёных) СДО в зависимости от  $S_m$  при  $D = 1$  и  $1,6$  км и разных фоновых условиях зрения (дневного, сумеречного или ночного), определяемых  $L_{\phi}$ . Анализ этих результатов показывает, что  $I$ , равная  $10000$  кд, достаточна при задан-

ных  $D$  и всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1600$  м. Следовательно, сила света всей группы входных СДО заведомо достаточна. При этом для ночных и сумеречных условий наблюдения данная  $I$  избыточна.

### 3.2. Посадочные СДО

На рис. 3 приведены результаты аналогичного расчёта для посадочных (жёлтых) СДО. Их анализ тоже показывает, что  $I$ , равная  $10000$  кд, достаточна при заданных  $D$  и всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1600$  м. Сила света всей группы посадочных СДО заведомо достаточна. Для ночных же и сумеречных условий наблюдения данная  $I$  избыточна.

### 3.3. Ограничительные СДО

На рис. 4 приведены результаты аналогичного расчёта для ограничительных (красных) СДО. Анализ и этих результатов показывает, что  $I$ , равная  $2500$  кд, избыточна при ночных и сумеречных условиях наблюдения и данных  $D$ . Тем более избыточна сила света группы ограничительных СДО. При дневных же условиях при  $S_m \leq 2$  км  $I$  в данном случае недостаточна.

### 4. Обсуждение результатов

Приведённые результаты позволяют сделать следующие основные выводы и рекомендации по  $I$  и её ступенчатой регулировке в соответствии с нормами ИКАО. Расчётные данные, приведённые на рис. 2–4 позволяют учитывать большие различия в  $L_{\phi}$  и, таким образом, определять требуемые значения  $I$ , охватывая три широкие категории – дневных, сумеречных и ночных – условий зрения (наблюдения). Видно, что четыре кривые разграничивают три диапазона, определяющие дневные, сумеречные и ночные условия. Самая верхняя кривая (день) соответствует  $L_{\phi} 10000$  кд/м<sup>2</sup> и соответствующей пороговой освещённости. Следующая кривая (граница между дневным и сумеречным временем суток) соответствует  $L_{\phi} 1000$  кд/м<sup>2</sup>. Третья кривая (граница между сумерками и ночным временем суток) соответствует  $L_{\phi} 1$  кд/м<sup>2</sup>, а самая нижняя кривая –  $L_{\phi} 10^{-2}$  кд/м<sup>2</sup> (тёмная ночь).

На рис. 2–4:

- все кривые имеют приблизительно один и тот же условный наклон, означающий, что потребная  $I$  при  $S_m = 10$  км, составляет  $1/30$  силы света, требуемой при  $S_m = 0$  км. Следовательно, для любого СДО при

Рекомендуемая сила света СДО при трёх условиях видимости в процентах от её номинальных значений у СДО всех групп

$S_m$ , км	Ступени силы света СДО, %		
	Ночь	Сумерки	День
6–4	1	3	10
4–2	1	10	30
2–1	3	30	30
менее 1	10	30	100

любых известных условиях можно начертить три кривые, если известна соответствующая потребная сила света при  $S_m = 0$  км. Таким образом, на практике кривая границы экстремальных условий в дневное время суток заканчивается не в точке нулевой видимости, а где дальность видимости равна 1,5 км, но наклон кривых соответствует общему случаю;

- интервал между кривыми по вертикали (ширина диапазонов для дневного времени, сумерек и ночного времени на рисунках) постоянен для всех групп (категорий) СДО в пределах данного диапазона. Поэтому диапазон дневного времени приблизительно в 1,5 раза шире диапазона ночного времени, а диапазон сумерек вдвое шире диапазона дневного времени;

- в реальных условиях эксплуатации одновременно наблюдаются как СДО приближения, так и СДО ВПП. При этом яркие СДО кажутся более близкими. Поэтому для правильной оценки пилотом высоты и расстояния при выполнении захода на посадку важную роль играет правильная сбалансированность силы света СДО, которая обеспечивается ступенчатой регулировкой в соответствии с нормами ИКАО. Для всех групп СДО предусмотрено пять ступеней регулировки в соотношении 1:3, а именно 100, 30, 10, 3 и 1% от номинального значения силы света. На рис. 2–4 справа приведены ступени регулировки в виде шкалы установочных значений силы света СДО.

Такое соотношение выбрано, исходя из особенностей зрительного восприятия и его адаптации к изменению яркости. Известно, что связь

между световым стимулом и ощущением определяется законом Вебера-Фехнера, являясь логарифмической зависимостью [1]. Чтобы зрительно ощутить разницу, например, вдвое по яркости СДО, соотношение по силе света СДО должно быть порядка 1:3.

На основании проведённых расчётов в зависимости от условий видимости на ВПП рекомендуется устанавливать ступени силы света СДО в соответствии со значениями, указанными в табл. 2. В дневных условиях такая регулировка не требуется.

## 5. Выводы

1. Сила света (осевая) одиночного СДО из числа входных (зелёных) и посадочных (жёлтых) СДО, равная 10000 кд, достаточна при указанных  $D$  (от порога ВПП) при всех условиях наблюдения кроме дневных при  $S_m = 0,8$  км и  $D = 1,6$  км. Тем более она достаточна для группы СДО. При этом при ночных и сумеречных условиях наблюдения данная сила света избыточна.

2. Сила света одиночного СДО из числа ограничительных (красных) СДО, равная 2500 кд, избыточна при ночных и сумеречных условиях наблюдения при указанных  $D$  (от порога ВПП). При дневных же условиях наблюдения при  $S_m \leq 2$  км данная сила света недостаточна.

3. Для входных, посадочных и ограничительных СДО в ночных и сумеречных условиях наблюдения существует необходимость в ступенчатой регулировке силы света, в дневных условиях такая регулировка не требуется.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России – проект № 14.604.21.0042.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забелина И.А. Расчёт видимости звёзд и далёких огней. – Л.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
2. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Ч. 2. Физиологическая оптика и calorиметрия. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Калошин Г.А., Матвиенко Г.Г., Шишкин С.А., Анисимов В.И., Бутузов В.В., Жуков В.В. Эффективность работы лазерной подсистемы посадки самолётов на ВПП в реальных условиях эксплуатации // Оборонная техника. – 2014. – № 1–2. – С. 81–87.
5. Kaloshin G.A., Matvienko G.G. Aerosol Microphysical Model of the Marine and Coastal Atmosphere Surface Layer for Calculation of Extinction in Visible and IR Radiation Wave Band // Proc. 5th Asian Aerosol Conf., Aug. 26–29, 2007. Kaohsiung, Taiwan, 2007. – P. 1121–1123.
6. Kaloshin G.A., Matvienko G.G. Aerosol Model Development for Environmental Monitoring in the Coastal Atmosphere Surface Layer // Proc. International Conference on Lasers, Applications, and Technologies (ICONO/LAT 2007), Minsk, Belarus, May 28–June 1, 2007. – P. 51.
7. Piazzola J., Kaloshin G. Performance evaluation of the coastal aerosol extinction code “MEDEX” with data from the Black Sea // Journal of Aerosol Science. – 2005. – Vol. 36, № 3. – P. 341–359.
8. Kaloshin G.A., Grishin I.A. An Aerosol Model of the Marine and Coastal

Atmospheric Surface Layer // Atmosphere-Ocean. — 2011. — Vol. 49, № 2. — P. 112–120.

9. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программа для расчёта комплексных показателей преломления вещества частиц морского и прибрежного аэрозоля MieCalc / Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616943, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2012. — 26 с.

10. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программа для расчёта спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления в приземном слое морской и прибрежной атмосферы MaexPro / Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616945, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.08.2012. — 68 с.

11. *Kaloshin G.A., Shishkin S.A.* Detectable distance calculations for a visual navigation system using a scanning semiconductor laser with electronic pumping // Appl. Optics. — 2011. — Vol. 50, № 20. — P. 3442–3448.

12. *Калошин Г.А., Шишкин С.А.* Программно-технологический пакет Range для проведения расчётов распространения оптического излучения с учётом аэрозольного ослабления в приземном слое континентальной, морской и прибрежной атмосферы / Св-во о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012616944, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 3.08.2012. — 83 с.

13. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 4. Визуальные сред-

ства. *Doc9157 AN/901*. Издание четвёртое, июль 2004 г.

14. *Луизов А.В.* Глаз и свет. — Л.: Энергоатомиздат, ЛО, 1983. — 144 с.

15. *Климук П.И., Забелина И.А., Гоголев В.А.* Визуальные наблюдения и загрязнение оптики в космосе. — Л.: Машиностроение, ЛО, 1983. — 224 с.

16. The IALA Naviguide. 5<sup>th</sup> ed. 2006.

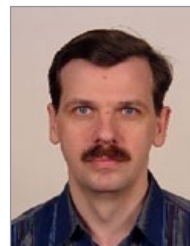
17. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000). — СПб: ГУ-НИО МО РФ, 2001. 328 с.



**Анисимов Вячеслав Иванович**, кандидат физ.-мат. наук, доцент. Окончил в 1973 г. Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва по специальности «Самолётостроение». Начальник лаборатории НИИ «ЭКРАН», Самара



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



**Жуков Владимир Валентинович**, инженер-радиотехник. Окончил в 1988 г. Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва по специальности «Радиотехника».

Начальник лаборатории НИИ «ЭКРАН», Самара



**Калошин Геннадий Александрович**, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1972 г. Томский государственный университет по специальности «Радиофизика и квантовая электроника». Ведущий научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

Ведущий научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск



**Шишкин Сергей Александрович**, инженер-конструктор. Окончил в 2000 г. Томский университет систем управления и радиоэлектроники. Научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

## «БЛ ГРУПП» и Министерство инфраструктуры Ирана договорились о сотрудничестве

В середине июля заместитель генерального директора по развитию стратегических и международных проектов ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП» Михаил Крыжов и руководитель проектов Александр Бордюжа посетили Исламскую Республику Иран с деловым визитом. При содействии торгового представительства РФ при посольстве РФ в Исламской Республике Иран в Тегеране были организованы три встречи.

Встреча с представителями бизнес-сообществ прошла в зале приёмов гостиницы «Эспинас».

На переговорах в мэрии, на которых присутствовал директор управления по освещению и городскому экстерьеру организации по благоустройству города при мэрии Тегерана, российская делегация рассказала об основных проектах в области уличного и архитектурного освещения, сделав акцент на новых разработках – светильниках GALAD «Кордоба LED» и GALAD «Урбан LED».

Представители мэрии высказали большой интерес к сотрудничеству с холдингом «БЛ ГРУПП». В настоящий момент рассматриваются варианты реализации пилотных проектов.

Переговоры с топ-менеджментом компании CDTIC, организации при Министерстве инфраструктуры Ирана, затронули темы совместных проектов в области строительства и модернизации объектов инфраструктуры на территории всей страны.

## «БЛ ГРУПП» провёл переговоры с индийским министром Судешом Сингхом Раватом

В июле в городе Пушкар (округ Аджмер, штат Раджастан, Индия) состоялась встреча представителей холдинга «БЛ ГРУПП» и правительства штата Раджастан. В частности, в переговорах принял участие министр по делам парламента штата Раджастан Судеш Сингх Рават. Встреча состоялась по инициативе индийской стороны.

Делегацию из России возглавил руководитель проектов департамента стратегических и международных проектов ООО Управляющая компания «БЛ ГРУПП» Андрей Ушаков. В состав, помимо коллег из зарубежного подразделения BL Trade India Private Limited, вошли арт-директор Карстен Винкельс и ведущий инженер-проектировщик ООО «Светопроект» Александр Фотин.

Участники обсудили перспективы сотрудничества в сфере уличного, садово-паркового и архитектурного освещения в Нью-Дели, Мумбае и других городах. После плодотворных переговоров российская делегация и индийские коллеги отправились на священное озеро Пушкар, где состоялась пресс-конференция.

В рамках выступления на мероприятии для индийских СМИ министр Судеш Сингх Рават подчеркнул, что им бы очень хотелось украсить храмы и озера штата Раджастан в соответствии с международными стандартами и что холдинг «БЛ ГРУПП» является именно той компанией, которой бы они хотели поручить данный проект.



# О влиянии положения наблюдателя на результаты фотометрических измерений в условиях сумеречного зрения\*

М. МАКСИМАЙНЕН, М. ПУОЛАККА, Э. ТЕТРИ, Л. ХАЛОНЕН

Университет Аалто, Эспо, Финляндия  
E-mail: eino.tetri@aalto.fi

## Аннотация

Описанную в *CIE191:2010* систему фотометрии в условиях сумеречного зрения невозможно применять в полной мере, не определив яркость адаптации. Яркостью адаптации считают среднюю яркость поля адаптации, то есть некоего участка в пределах поля зрения. Имеющие высокую яркость источники могут увеличивать уровень адаптации, формируя вуалирующую яркость. И вуалирующая яркость, и средняя яркость поля адаптации могут изменяться в зависимости от положения наблюдателя. В данной работе относительное среднеквадратичное отклонение значений средней яркости полей адаптации, полученных при разных положениях наблюдателя, составило 7%. Вуалирующая яркость увеличивала уровень адаптации в среднем на 25%. Относительное среднеквадратичное отклонение значений яркости в условиях сумеречного зрения, полученных при разных положениях наблюдателя, составило 4,4%. Но так как яркость адаптации слабо зависит от положения, то одно-единственное положение наблюдателя может оказаться достаточным для проведения фотометрических измерений в условиях сумеречного зрения.

**Ключевые слова:** яркость адаптации, поле адаптации, фотометрия в условиях сумеречного зрения, вуалирующая яркость.

## 1. Введение

Фотометрия в условиях сумеречного зрения была разработана для улучшения точности светотехнических измерений. Описанную в *CIE191:2010* систему фотометрии в условиях сумеречного зрения можно использовать для расчёта яркости в условиях сумеречного зрения при известных яркости в условиях дневного зрения и спектре излучения светильника [1]. Однако предложенную в *CIE191:2010* систему невозможно применять в полной мере, не определив яркость адаптации  $L_a$ . Яркостью адаптации можно считать среднюю яркость поля адаптации, то есть некоего участка в пределах поля зрения. В идеале, яркость адаптации эквивалентна состоянию адаптации сетчатки. Однако источник блёскости может приводить к возникновению вуалирующей яркости из-за внутриглазного рассеяния света [2]. Вуалирующая яркость увеличивает уровень адаптации, однако средняя яркость поля адаптации увеличивается толь-

ко тогда, когда источник блёскости находится в пределах поля адаптации.

Одной из основных областей применения фотометрии в условиях сумеречного зрения является освещение дорог. Измерение освещения дорог в настоящее время производится при одном-единственном расположении наблюдателя: на расстоянии 60 м от осветительной опоры, в центре полосы дороги и на высоте 1,5 м от поверхности дороги [3]. Этот метод позволяет получать необходимую информацию о яркости дорожного покрытия в условиях сумеречного зрения. Однако применительно к фотометрии в условиях сумеречного зрения яркость адаптации зависит не только от дорожного покрытия, но и от примыкающих к дороге участков. Кроме того, на уровень адаптации влияет вуалирующая яркость, которая зависит от положения наблюдателя. И в-третьих, автомобили обычно движутся вдоль дороги, а не стоят неподвижно. Поэтому важно установить зависимость между продольным положением наблюдателя и яркостью в условиях сумеречного зрения.

В данной работе исследована зависимость яркости в условиях сумеречного зрения от продольного положения наблюдателя.

## 2. Методы

### 2.1. Поля зрительной адаптации

Авторами проведена серия измерений с использованием яркомера на приборах с зарядовой связью *LMK Mobile Advanced* с фокусным расстоянием объектива 55 мм. Измерения производились на улице *Munkkiniemenranta*, находящейся в г. Хельсинки, Финляндия. Эта улица относится к классу *ME4b* по освещению [4], и освещалась светильниками с СД *AEC Illuminazione LED-in 1H-ST 4.5-63* (103 Вт, 4000 К). Светильники были установлены на опорах и располагались справа от линии зрения наблюдателя. Высота установки светильников была равна 8,1 м, а расстояние между двумя соседними опорами составляло 30 м. Све-

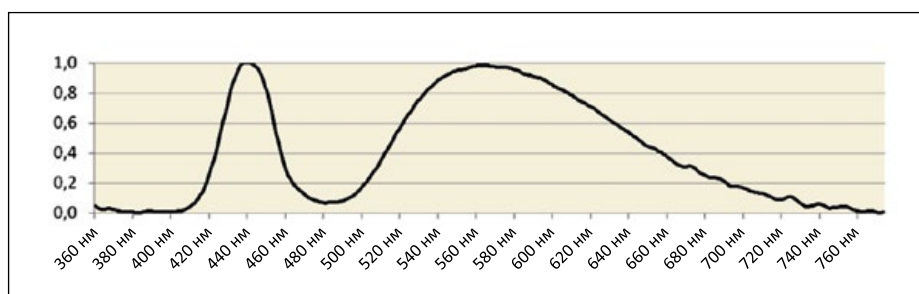


Рис. 1. Относительное спектральное распределение энергии излучения светильника с СД *AEC Illuminazione LED-in 1H-ST 4.5-63*

\* Перевод с англ. Е. И. Розовского

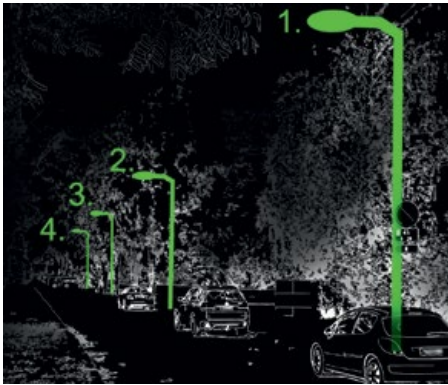


Рис. 2. Схематическое изображение осветительной установки на улице *Munkkiniemenranta* (светильники 1, 2, 3 и 4 выделены зелёным цветом)

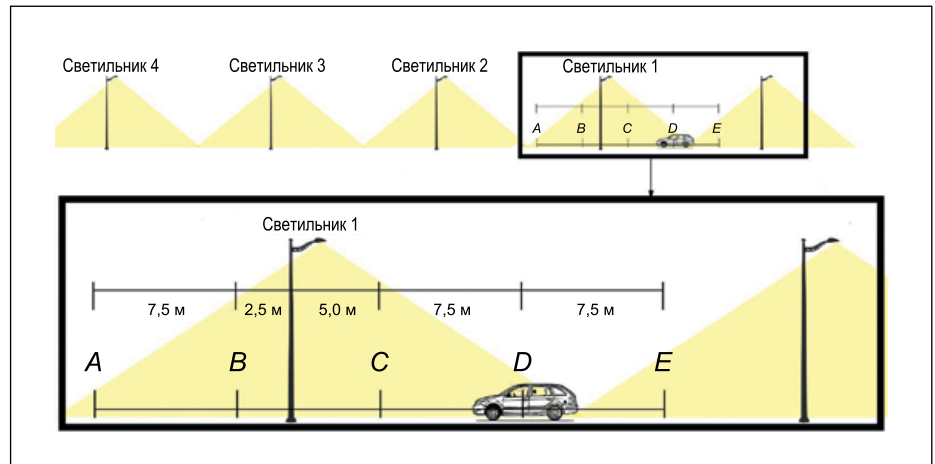


Рис. 3. Точки измерения *A, B, C, D* и *E* и расстояния между ними и светильниками

Светильники имели отношение  $S/P$ , равное 1,44. Спектр излучения светильника приведён на рис. 1.

Измерения яркости проводились изнутри автомобиля с места расположения водителя. Яркометр на приборах с зарядовой связью располагался на высоте 1,3 м от поверхности дороги. В горизонтальной плоскости наблюдатель находился на полосе дороги на расстоянии 2 м от её правой границы, что считалось соответствующим расположению водителя. Измерения яркости проводились в пяти точках измерения (*A, B, C, D* и *E*). Расстояние между соседними точками измерения было равно 7,5 м. В процессе измерений автомобиль был припаркован на полосе дороги. В зависимости от точки измерения, в поле зрения находились три или четыре уличных светильника. Условия проведения измерений продемонстрированы на рис. 2 и 3. Во время проведения измерений на полосе находился ещё один припаркованный автомобиль, но у него были включены только парковочные фонари. Световые потоки светильников с СД можно было регулировать посредством изменения тока. Измерения яркости проводились при трёх уровнях светового потока: 100, 70 и 50%.

Размеры, форма и местоположение поля зрительной адаптации всё ещё нуждаются в конкретизации. Поэтому в данной работе были рассмотрены пять разных по-

лей адаптации. Четыре из пяти полей имели форму круга с центром в конце полосы, на которой находился наблюдатель. Размеры этих круговых полей адаптации  $1^\circ, 2^\circ, 5^\circ$  и  $10^\circ$ . Эти круговые поля адаптации в какой-то степени отражают распределение точек фиксации глаз водителя [5, 6]. Пятым полем адаптации являлась поверхность дороги, так как это поле в настоящее время используется в качестве поля измерения в техническом отчёте МКО *CIE140:2000*, посвящённом расчёту параметров дорожного освещения, и в приведённых в *EN13201-3* методах расчёта параметров дорожного освещения [3, 7]. Однако в данной работе поле адаптации «на поверхности дороги» было привязано только к рассматриваемой полосе дороги.

## 2.2. Вуалирующая яркость

Вуалирующая яркость определялась при помощи предложенного МКО уравнения для расчёта слепящей блескости [8]:

$$L_{veil} = E_{gl} \left\{ \frac{10}{\theta^2} + \left[ \frac{5}{\theta^2} + \frac{0,1 \cdot p}{\theta} \right] \cdot \left[ 1 + \left( \frac{A}{62,5} \right)^4 \right] + 0,0025 \cdot p \right\}, \quad (1)$$

где  $L_{veil}$  – вуалирующая яркость,  $\theta$  – угол (в градусах) между точкой фиксации зрения и источником с высокой яркостью,  $E_{gl}$  – освещённость в вертикальной плоскости на глазе наблюдателя, так что вертикальную освещённость умножают на косинус угла между проходящей через глаз наблюдателя горизонтальной плоскостью и прямой, соединяющей глаз наблюдателя и источник света,  $A$  – возраст наблюдателя в годах,  $p$  – коэффициент пигментации глаза. В данной работе возрастом наблюдателя считался средний возраст населения Финляндии (43 года). Коэффициент пигментации считался равным 0,9, что соответствует довольно светлым глазам.

В продольном направлении вуалирующую яркость рассчитывали для 25 положений наблюдателя. При этом наблюдатель располагался в точках *A, B, C, D* и *E* (рис. 3). Кроме того, вуалирующую яркость рассчитывали применительно к 20 дополнительным точкам, по пять между

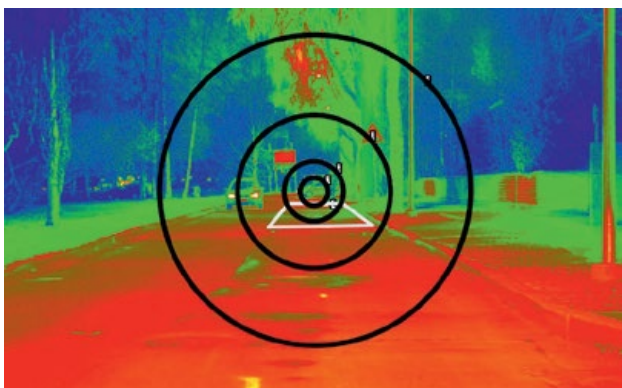
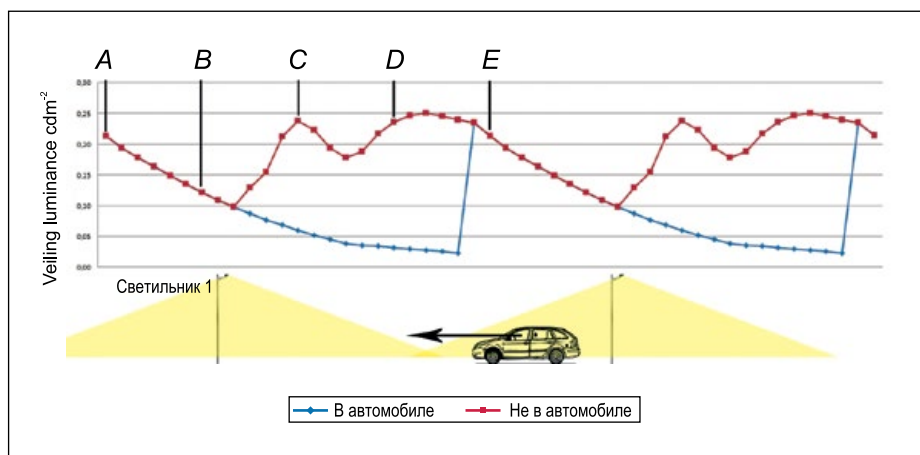


Рис. 4. Яркое изображение улицы *Munkkiniemenranta*, на котором показаны круговые поля адаптации с угловыми размерами  $0^\circ, 2^\circ, 5^\circ$  и  $10^\circ$  и поверхность дороги между двумя соседними осветительными опорами. Яркое изображение было получено для точки измерения *D*

Рис. 5. Повторяющаяся последовательность точек расчёта вуалирующей яркости и рассчитанные для этих точек значения вуалирующей яркости. На красном графике (не в автомобиле) приведены значения вуалирующей яркости в случае незэранированного поля зрения. На синем графике (в автомобиле) приведены значения вуалирующей яркости в случае, когда экранирующая плоскость расположена под углом  $20^\circ$  к горизонтали



каждыми из соседних точек *A, B, C, D* и *E*. Соответственно, общее количество точек, применительно к которым рассчитывались значения вуалирующей яркости, было равно 25, а расстояние между двумя расчётными точками – 1,25 м.

Вуалирующую яркость рассчитывали в два этапа. Вначале в предположении, что поле зрения ничем не экранировано. Затем в предположении, что экранируется всё, что расположено выше  $20^\circ$  над линией зрения наблюдателя.  $20^\circ$  были выбраны как предположительный угол экранирования крышей автомобиля, если в качестве наблюдателя рассматривать водителя. Кроме того, расположенная под углом  $20^\circ$  к горизонтали экранирующая плоскость использовалась в европейском стандарте [3]. Если экранирующая плоскость расположена под углом  $20^\circ$  к горизонтали, то наблюдатель не видит все светильники, находящиеся от него на расстоянии менее 18,9 м. На рис. 5 проиллюстрировано повторяющееся расположение точек расчёта вуалирующей яркости и приведены рассчитанные для обоих вариантов значения вуалирующей яркости. На рис. 6 показан угол экранирования между горизонтальной линией фиксации взгляда и крышей автомобиля.

### 2.3. Преобразование в значения, соответствующие условиям сумеречного зрения

Измеренные значения яркости в условиях дневного зрения были преобразованы в значения, соответствующие условиям сумеречного зрения, при помощи описанной в *CIE191:2010* системы фотометрии в условиях сумеречного зрения [1]. Эта система основана на следующих уравнениях:

$$M(m) \cdot V_{mes}(\lambda) = m \cdot V(\lambda) + (1 - m) \cdot V'(\lambda), \quad (2)$$

$$L_{mes} = \frac{683}{V_{mes}(\lambda_0)} \cdot \int_0^\infty V_{mes}(\lambda) \cdot L_e(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (3)$$

где  $m$  – коэффициент, значение которого зависит от адаптации,  $M(m)$  – нормализующая функция, такая, что максимальное значение  $V_{mes}(\lambda)$  становится равным 1,  $V_{mes}(\lambda_0)$  – значение  $V_{mes}(\lambda)$  при  $\lambda = 555$  нм,  $L_{mes}$  – яркость в условиях сумеречного зрения,  $L_e(\lambda)$  – спектральная плотность энергетической яркости в Вт/( $m^2 \cdot sr \cdot nm$ ).

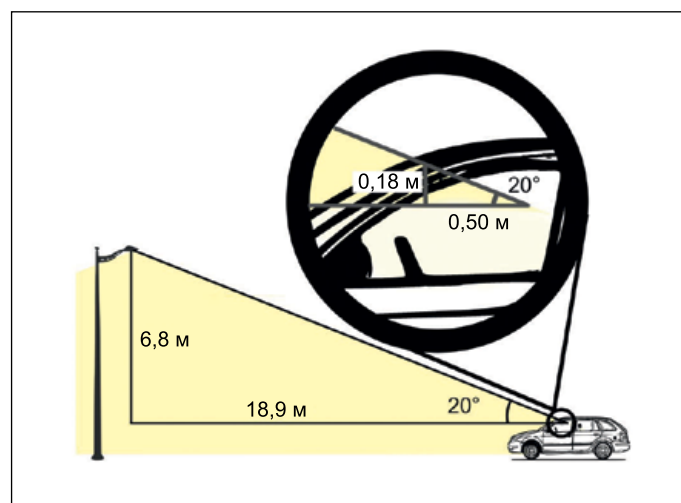


Рис. 6. Экранирующая плоскость, расположенная под углом  $20^\circ$  к горизонтали. Наблюдатель не видит светильники, находящиеся от него на расстоянии менее 18,9 м

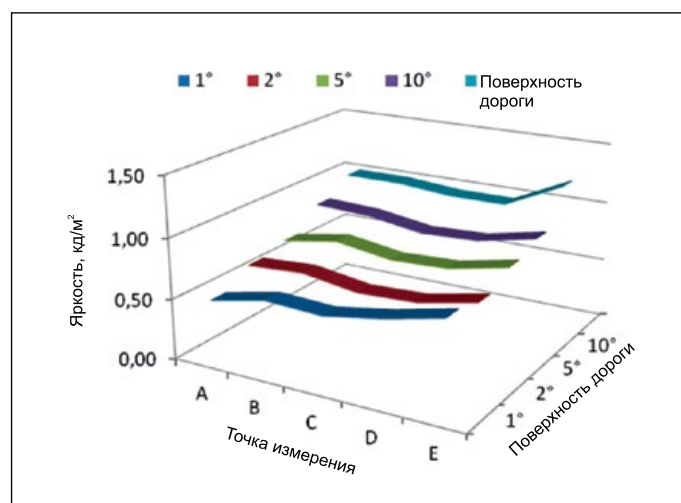


Рис. 7. Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и  $10^\circ$  и поверхности дороги в точках измерения *A, B, C, D* и *E*. Светильники работали в режиме 100% светового потока

Если  $L_{mes} \geq 5$  кд/ $m^2$ , то  $m = 1$ , а если  $L_{mes} \leq 0,005$  кд/ $m^2$ , то  $m = 0$ . Коэффициент  $m$  и яркость в условиях сумеречного зрения  $L_{mes}$  можно рассчитать методом последовательных приближений:



Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и 10° и поверхности дороги в точках измерения *A*, *B*, *C*, *D* и *E*, а также средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) в точках измерения при использовании разных полей адаптации. И наоборот, средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) для каждого из полей адаптации при проведении измерений в пяти точках. Светильники работали в режиме 100% светового потока

100%-световой поток	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	Среднее	Относительное значение $\sigma$ , %
1°, кд/м <sup>2</sup>	0,49	0,59	0,57	0,65	0,76	0,61	16
2°, кд/м <sup>2</sup>	0,62	0,65	0,58	0,60	0,70	0,63	7
5°, кд/м <sup>2</sup>	0,68	0,76	0,69	0,71	0,81	0,73	7
10°, кд/м <sup>2</sup>	0,86	0,84	0,77	0,79	0,89	0,83	6
Поверхность дороги, кд/м <sup>2</sup>	1,00	1,00	0,96	0,96	1,19	1,02	9
Среднее, кд/м <sup>2</sup>	0,73	0,77	0,71	0,74	0,87	<b>0,76</b>	
Относительное значение $\sigma$ , %	28	21	22	19	22		

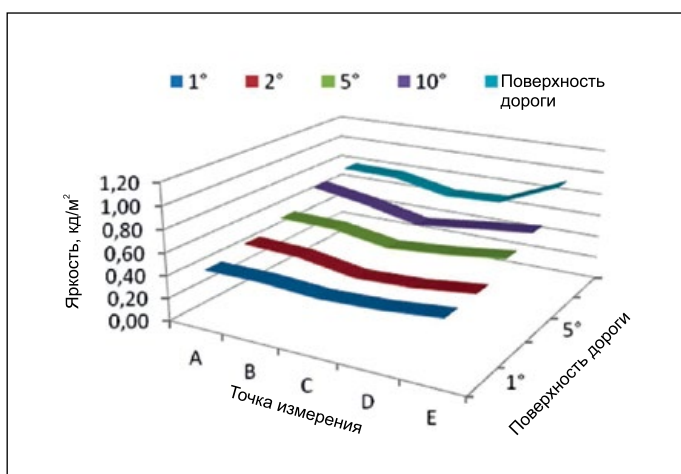


Рис. 8. Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и 10° и поверхности дороги в точках измерения *A*, *B*, *C*, *D* и *E*. Светильники работали в режиме 70% светового потока

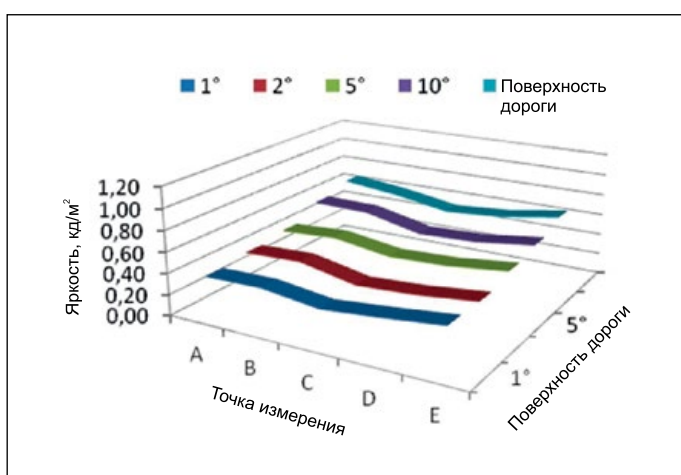


Рис. 9. Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и 10° и поверхности дороги в точках измерения *A*, *B*, *C*, *D* и *E*. Светильники работали в режиме 50% светового потока

$$m_0 = 0,5,$$

$$L_{mes,n} = \frac{m_{n-1} \cdot L_p + (1 - m_{n-1}) \cdot L_S \cdot V'(\lambda_0)}{m_{n-1} + (1 - m_{n-1}) \cdot V'(\lambda_0)}, \quad (4)$$

$$m_n = a + b \cdot \log_{10} \left( \frac{L_{mes,n}}{L_0} \right), \quad (5)$$

где  $L_p$  – яркость поля зрительной адаптации в условиях дневного зрения,  $L_S$  – яркость поля зрительной адаптации в условиях ночного зрения,  $L_0 = 1$  кд/м<sup>2</sup>,  $V'(\lambda_0) = 683/1699$  – значение относительной спектральной световой эффективности в условиях ночного зрения при  $\lambda = \lambda_0 = 555$  нм,  $a$  и  $b$  – параметры, равные 0,7670 и 0,3334 соответственно,  $n$  – номер итерации [1].

### 3. Результаты

Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 1, 2, 5 и 10° и поверхности дороги были измерены в точках *A*, *B*, *C*, *D* и *E*. Измерения проведены при 100, 70 и 50% от максимального светового потока светильников. Вуалирующие яркости рассчитаны для 25 точек в соответствии с рис. 5 только для 100% уровня светового потока. Расчёты уровня адаптации выполнены только применительно к 5° круговому полю адаптации. Изменение продольного положения наблюдателя слабо влияло на различия в результатах, полученных для разных размеров поля адаптации. Поэтому проведение расчётов уровня адаптации применительно и к другим полям адаптации было бы лишним. Для получения яркости, соответствующей уровню адаптации, к средней яркости 5° кругового поля адаптации была прибавлена вуалирующая яркость. И наконец, применительно к 5°-круговому полю адаптации проведено преобразование полученных результатов в данные, соответствующие условиям сумеречного зрения, после чего проведена оценка влияния вуалирующей яркости и положения наблюдателя.

Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и 10° и поверхности дороги в точках измерения *A*, *B*, *C*, *D* и *E*, а также средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) в точках измерения при использовании разных полей адаптации. И наоборот, средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) для каждого из полей адаптации при проведении измерений в пяти точках. Светильники работали в режиме 70% светового потока

70% световой поток	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	Среднее	Относительное значение $\sigma$ ,%
1°, кд/м <sup>2</sup>	0,45	0,45	0,42	0,44	0,49	0,45	6
2°, кд/м <sup>2</sup>	0,51	0,49	0,41	0,43	0,49	0,47	9
5°, кд/м <sup>2</sup>	0,59	0,58	0,50	0,54	0,60	0,56	7
10°, кд/м <sup>2</sup>	0,74	0,66	0,55	0,61	0,66	0,64	11
Поверхность дороги, кд/м <sup>2</sup>	0,79	0,78	0,68	0,70	0,92	0,77	12
Среднее, кд/м <sup>2</sup>	0,62	0,59	0,51	0,54	0,63	<b>0,58</b>	
Относительное значение $\sigma$ ,%	24	22	22	21	28		

Таблица 3

Средние яркости круговых полей адаптации с угловыми размерами 0, 2, 5 и 10° и поверхности дороги в точках измерения *A*, *B*, *C*, *D* и *E*, а также средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) в точках измерения при использовании разных полей адаптации. И наоборот, средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения яркости ( $\sigma$ ) для каждого из полей адаптации при проведении измерений в пяти точках. Светильники работали в режиме 50% светового потока

70% световой поток	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	Среднее	Относительное значение $\sigma$ ,%
1°, кд/м <sup>2</sup>	0,37	0,38	0,31	0,36	0,42	0,37	11
2°, кд/м <sup>2</sup>	0,41	0,43	0,32	0,35	0,41	0,38	12
5°, кд/м <sup>2</sup>	0,45	0,48	0,40	0,42	0,48	0,45	8
10°, кд/м <sup>2</sup>	0,58	0,57	0,45	0,47	0,54	0,52	11
Поверхность дороги, кд/м <sup>2</sup>	0,66	0,60	0,51	0,55	0,64	0,59	11
Среднее, кд/м <sup>2</sup>	0,49	0,49	0,40	0,43	0,50	<b>0,46</b>	
Относительное значение $\sigma$ ,%	25	19	21	19	19		

### 3.1. Поля зрительной адаптации

На рис. 7–9 и в табл. 1–3 приведены средние яркости полей адаптации при работе светильников в режимах 100, 70 и 50%. Кроме того, в табл. 1–3 приведены средние значения и относительные среднеквадратичные отклонения, полученные применительно к совокупности точек измерения и полей адаптации.

Средние яркости, полученные для разных полей адаптации, отличались друг от друга умеренно. Средние значения относительного среднеквадратичного отклонения, рассчитанные применительно к совокупности полей адаптации, оказались равными 22, 23 и 21% для 100- 70- и 50% уровней светового потока соответственно. Данные, полученные применительно к разным круговым полям адаптации, различались очень мало. Средняя яркость поверхности дороги всё время была несколько выше, чем средние яркости больших круговых полей адаптации. Кроме того, средние яркости круго-

вых полей адаптации были выше, чем средние яркости круговых полей адаптации меньших размеров. Вероятнее всего, причиной этого систематического увеличения яркости был ближний свет фар использовавшегося при проведении измерений автомобиля. Эти фары освещали главным образом поверхность дороги, а не окружающее пространство. Чем больше был относительный размер близкого к наблюдателю участка дороги, тем больше была и средняя яркость поля адаптации.

Продольное положение наблюдателя очень слабо влияло на среднюю яркость поля адаптации. Средние значения относительного среднеквадратичного отклонения, рассчитанные применительно ко всем точкам измерения, оказались равными 9, 9 и 11% для 100, 70 и 50% уровней светового потока соответственно. Точкам измерения *C* и *D* почти при всех уровнях светового потока и полях адаптации соответствовали наименьшие значения яркости. Однако эта тенденция была незначительной и, возможно, чисто случайной.

Расчётные значения вуалирующей яркости в 25 точках измерения при нахождении наблюдателя «в автомобиле» и «не в автомобиле». Если наблюдатель находится «не в автомобиле», то в поле зрения попадают все объекты. Если наблюдатель находится «в автомобиле», то в поле зрения не попадают источники света, расположенные под углами более 20° над линией горизонта наблюдателя. Приведены расстояния между наблюдателем и ближайшей осветительной опорой по правую сторону от наблюдателя

	A					B				Опора				
Расстояние, м	20	21,25	22,5	23,75	25	26,25	27,5	28,75	0	1,25	2,5	3,75		
В автомобиле, кд/м <sup>2</sup>	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07		
Не в автомобиле, кд/м <sup>2</sup>	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,13	0,15	0,21		
	C					D				E				
Расстояние, м	5	6,25	7,5	8,75	10	11,25	12,5	13,75	15	16,25	17,5	18,75	20	
В автомобиле, кд/м <sup>2</sup>	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,23	0,21	
Не в автомобиле, кд/м <sup>2</sup>	0,24	0,22	0,19	0,18	0,19	0,22	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	

### 3.2. Вуалирующая яркость

Таблица 5

В табл. 4 приведены результаты расчётов вуалирующей яркости, а в табл. 5 – результаты статистического анализа полученных данных. Расчётные точки и соответствующие им значения яркости показаны на рис. 5.

Вуалирующая яркость сильно зависит от положения наблюдателя. В предельном случае, вуалирующая яркость увеличилась на более чем 900% при изменении положения наблюдателя на 1,25 м. Это имело место, когда наблюдатель считался сидящим в автомобиле и источники света, которые находились выше, чем под углом 20° к горизонтальной линии зрения наблюдателя, в рассмотрении не участвовали. При неэкранированном поле зрения изменения не столь впечатляющие, как при нахождении наблюдателя в автомобиле. Тем не менее при неэкранированном поле зрения отношение максимального значения вуалирующей яркости к её минимальному значению оказалось равным 2,61.

### 3.3. Яркость адаптации

В данной работе считалось, что яркость адаптации отражает состояние адаптации сетчатки. При этом также считалось, то она равна сумме средней яркости поля адаптации и вуалирующей яркости. Кроме того, яркость адаптации определяет собой спектральную чувствительность сетчатки. В данной работе считалось, что в пределах поля зрения участок измерения и поле адаптации совпадают. Для определения яркости адаптации, яркость участка измерения в условиях дневного зрения следует преобразовать в его яркость в условиях сумеречного зрения. На рис. 10 про-

Средние, минимальные и максимальные расчётные значения вуалирующей яркости, отношения максимальной яркости к минимальной, среднеквадратичные отклонения и относительные среднеквадратичные отклонения

	В автомобиле	Не в автомобиле
Среднее, кд/м <sup>2</sup>	0,09	0,18
Минимум, кд/м <sup>2</sup>	0,02	0,09
Максимум, кд/м <sup>2</sup>	0,22	0,24
Максимум/минимум	10,29	2,61
$\sigma$ , кд/м <sup>2</sup>	0,07	0,05
Относительное значение $\sigma$ , %	71	25

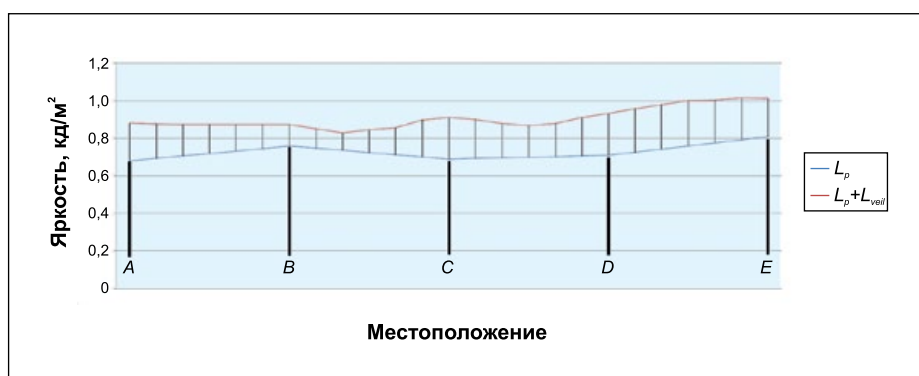


Рис. 10. Увеличение яркости адаптации, вызванное наличием вуалирующей яркости. На синем графике приведены средние значения яркости поля адаптации. На красном графике (не в автомобиле) приведены значения яркости адаптации. A, B, C, D и E – точки измерения



Яркость в условиях сумеречного зрения  $L_{mes}$ , яркость в условиях сумеречного зрения при наличии вуалирующей яркости  $L_{mes.true}$  и их относительная разность. Расчёты проводились с использованием 25 расчётных точек

									Опора				
Расположение, м	A	A+1,25	A+2,5	A+3,75	A+5	A+6,25	B	B+1,25	B+2,5	B+3,75	B+5	B+6,25	
$L_{mes}$ , кд/м <sup>2</sup>	0,7205	0,7342	0,7478	0,7615	0,7751	0,7887	0,8023	0,7904	0,7785	0,7666	0,7546	0,7427	
$L_{mes.true}$ , кд/м <sup>2</sup>	0,7156	0,7297	0,7438	0,7579	0,7719	0,7859	0,8000	0,7884	0,7768	0,7640	0,7514	0,7379	
Разность, %	-0,69%	-0,61%	-0,53%	-0,47%	-0,41%	-0,35%	-0,29%	-0,25%	-0,22%	-0,34%	-0,43%	-0,65%	
Расположение, м	C	C+1,25	C+2,5	C+3,75	C+5	C+6,25	D	D+1,25	D+2,5	D+3,75	D+5	D+6,25	E
$L_{mes}$ , кд/м <sup>2</sup>	0,7308	0,7342	0,7376	0,7410	0,7444	0,7478	0,7512	0,7683	0,7853	0,8023	0,8193	0,8363	0,8533
$L_{mes.true}$ , кд/м <sup>2</sup>	0,7253	0,7290	0,7332	0,7370	0,7402	0,7428	0,7457	0,7625	0,7794	0,7963	0,8138	0,8309	0,8485
Разность, %	-0,75	-0,70	-0,60	-0,54	-0,57	-0,67	-0,73	-0,75	-0,74	-0,75	-0,68	-0,64	-0,57

демонстрировано обусловленное вуалирующей яркостью увеличение яркости адаптации наблюдателя, который находится не в автомобиле. Ситуация «не в автомобиле» была выбрана потому, что в этом случае влияние вуалирующей яркости проявляется сильнее. Поэтому можно утверждать, что при нахождении наблюдателя в автомобиле влияние вуалирующей яркости окажется таким же или меньшим по сравнению с полученным в данной работе. Значения средней яркости, соответствующие полям адаптации между точками A, B, C, D и E, были получены посредством линейной интерполяции. В среднем, вуалирующая яркость увеличивала яркость адаптации на 25%.

### 3.4. Яркость в условиях сумеречного зрения

Вуалирующая яркость увеличивает уровень адаптации. Так, если уровень адаптации находится в пределах сумеречной области, то вуалирующая яркость смещает спектральную чувствительность в сторону дневного зрения. Естественно, вуалирующая яркость не приводит к увеличению яркости участка измерения. И если не учитывать вуалирующую яркость, то рассчитанная яркость участка измерения в условиях сумеречного зрения не соответствует действительности. В данной работе считалось, что в пределах поля зрения участок измерения и поле адаптации совпадают. Кроме того, приведённые ниже значения яркости в условиях сумеречного зрения получены только с использованием 5°-кругового поля адаптации. Повторение расчётов для других полей адаптации было сочтено лишним.

Использовавшийся в работе [9] метод последовательных приближений был применён для выявления влияния вуалирующей яркости на преобразование полученных данных в значения яркости соответствующие условиям сумеречного зрения. Истинные значения яркости в условиях сумеречного зрения  $L_{mes, true}$ , лежащие в интервале между измеренным значением яркости в условиях дневного зрения  $L_p$  и рассчитанным первоначально значе-

нием яркости в условиях сумеречного зрения  $L_{mes}$ , были получены посредством описываемого уравнениями (4) и (5) метода последовательных приближений, в котором используется десятичный логарифм, более точный, чем, например, линейная интерполяция. Этот метод реализуется следующим образом [9]:

1. Вначале среднюю яркость поля адаптации  $L_p$  при помощи уравнений (2) – (5) преобразуют в яркость в условиях сумеречного зрения  $L_{mes}$ .

2. Затем определяют  $L_{mes, true}$ , для чего вначале определяют уровень адаптации, прибавляя к рассчитанному значению вуалирующей яркости среднюю яркость поля адаптации. Полученный результат при помощи уравнений (2)–(5) преобразуют в яркость в условиях сумеречного зрения. В результате этих расчётов после 20 итераций получают значение  $m_{n-1}$ . Затем это значение используется в качестве «коэффициента интерполяции» при расчёте  $L_{mes, true}$ . Теперь значение  $L_{mes, true}$  можно определить при помощи однократного применения уравнения (4) (а не методом последовательных приближений), в котором в качестве яркости поля адаптации выступает яркость в условиях дневного зрения  $L_p$ , а в качестве «коэффициента интерполяции» – параметр  $m_{n-1}$ .

3. И наконец, рассчитывают соотношение  $L_{mes}$  и  $L_{mes, true}$ .

Результаты применения описанного процесса приведены в табл. 6. Обусловленная наличием вуалирующей яркости средняя относительная разность значений  $L_{mes, true}$  и  $L_{mes}$  составила -0,56%. Это можно считать очень малым различием. Рассчитанное применительно к  $L_{mes, true}$  значение относительного среднеквадратичного отклонения оказалось равным 4,4%.

### 4. Выводы

Измеренное значение яркости в условиях сумеречного зрения изменялось в зависимости от положения наблюдателя. Целями данной работы были идентификация и ко-

личественное описание этого изменения. Поэтому значения яркости в условиях сумеречного зрения измерены применительно к нескольким продольным положениям наблюдателя на дороге, после чего проанализированы полученные результаты.

Средняя яркость поля адаптации измерена в пяти следующих друг за другом точках. Расстояние между двумя соседними точками равно 7,5 м. В качестве полей адаптации использованы круговые поля размером 1, 2, 5 и 10° и поверхность дороги между двумя соседними светильниками. Измерения проведены при 100, 70 и 50% от максимального светового потока светильников. Среднее значение относительного среднеквадратичного отклонения, рассчитанное применительно к совокупности полей адаптации, оказалось равным 22%. При этом зависимость от продольного положения наблюдателя оказалась одинаковой для всех полей адаптации, а уровень создаваемого осветительной установкой светового потока не оказывал существенного влияния на эту зависимость. Так что во избежание повторений анализ проведён только применительно к 100% уровню светового потока и 5°-круговому полю адаптации. При этих значениях параметров (100% и 5°) среднее значение относительного среднеквадратичного отклонения, рассчитанное применительно к средним значениям яркости, измеренным в пяти точках (А, В, С, D и E), оказалось равным 7%.

Наличие вуалирующей яркости приводит к увеличению яркости адаптации, но не к увеличению яркости участка измерения. Так что вуалирующую яркость следует учитывать при преобразовании яркости участка измерения в яркость в условиях сумеречного зрения. Среднее значение относительного среднеквадратичного отклонения, рассчитанное применительно к совокупности значений вуалирующей яркости, оказалось равным 71%, если наблюдатель находился в автомобиле, и 25%, если — не в автомобиле. Кроме того, исходя из значений яркости адаптации, мы определили яркости участков измерения в условиях сумеречного зрения. Обусловленные влиянием вуалирующей яркости изменения яркости в условиях сумеречного зрения, в среднем составили всего –0,56%.

Относительное среднеквадратичное отклонение значений яркости в условиях сумеречного зрения, полученных при разных положениях наблюдателя, оказалось равным 4,4%. Теоретически, продольное положение наблюдателя является существенным. Однако при осуществляемых на практике измерениях параметров дорожного освещения влияние продольного положения наблюдателя можно считать небольшим.

Авторы благодарят Программу университета Аалто в области энергоэффективности (проект *Light Energy – Efficient and Safe Traffic Environments*) за финансирование данной работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE191:2010. Recommended system for mesopic photometry based on visual performance. Vienna, CIE, 2010.
2. Holladay, L. L. The fundamentals of glare and visibility// Journal of the Optical society of America and review of scientific instruments. –1926. – Vol. 12, No. 4. – P. 271–319.

3. EN13201–3. Road lighting – Part 3: Calculation of performance. European Standard, CEN, Brussels, 2004.
4. CEN/TR13201–1. Road lighting – Part 1: Selection of lighting classes. Technical Report, CEN, Brussels, 2004.
5. Cengiz, C., Kotkanen, H., Puolakka, M., Lappi, O., Lehtonen, E., Halonen, L., Summala, H. Combined eye-tracking and luminance measurements while driving on a rural road: Towards determining mesopic adaptation luminance// Lighting Research and Technology. – 2013. – Vol. 0. – P. 1–19.
6. Winter, J., Völker, S. Typical eye fixation areas of car drivers in innercity environments at night. Lux Europa 2013, 12th European Lighting Conference, Krakow, 2013.
7. CIE140:2000. Technical report, Road lighting calculations. ISBN3901 906 541. 2000.
8. CIE146:2002. CIE equations for disability glare. ISBN978 3901906 152, 2002.
9. Maksimainen, M., Puolakka, M., Tetri, E., Halonen, L. Veiling luminance and visual adaptation field in mesopic photometry// Lighting Research and Technology, 2016 (в печати).



**Микко Максимайнен (Mikko Maksimainen)**, М. Сс. Аспирант Университета Аалто. Область научных интересов: наружное освещение, фотометрия в условиях сумеречного зрения, зрительная адаптация



**Марьюкка Пуолакка (Marjukka Puolakka)**, Dr. Sc. Внештатный журналист с большим опытом научной работы. Имеет более чем двадцатилетний опыт научных исследований. Область научных интересов: светотехника, эргономические характеристики освещения, наружное и транспортное освещение, инженерное оборудование зданий и «умные» дома. Автор более 130 научных работ



**Эйно Тетри (Eino Tetri)**, Dr. Sc. Окончил Хельсинкский технический университет (2001 г.). Руководитель группы светотехнического блока Университета Аалто по исследованиям источников света и энергоэффективных систем освещения



**Лииза Халонен (Liisa Halonen)**, Dr. Sc. (1993 г.), проф. Возглавляет светотехнический блок Университета Аалто. Отвечает за обучение аспирантов и исследования в области светотехники. Координировала ряд национальных и международных исследовательских проектов

# Метод и прибор для оперативной оценки энергоэффективности оптического излучения в условиях светокультуры

В.Н. КУЗЬМИН, С.Е. НИКОЛАЕВ

Научно-техническое предприятие «ТКА» (ООО), Санкт-Петербург  
E-mail: kvnlight@mail.ru

## Аннотация

Описаны метод измерения уровня энергоэффективности оптического излучения в условиях светокультуры и спектрофотометр, разработанный в Научно-техническом предприятии «ТКА».

**Ключевые слова:** растения, светокультура, плотность потока фотонов фотосинтеза, светильники, источник излучения, спектр излучения, энергоэффективность.

## Введение

Известно, что почти вся энергия на земную поверхность прямо или косвенно поступает от Солнца. Растения преобразуют её в удобную для них форму через фотосинтез. Существует разность представлений о фотосинтетически активной радиации (ФАР) и её количественном описании.

При изучении действия оптического излучения на растения всегда необходимо учитывать, что в физиологических процессах (фотосинтез, образование пигментов, рост, фотоморфогенез и проч.) участвует только та часть излучения, которая поглощается растительными тканями<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ещё К. А. Тимирязев в конце XIX века ставил перед физиологами растений задачу выяснить, какая часть солнечного излучения, падающего на лист, им используется. А сравнительно недавно (1972 г.) К. Дж. Маккри обнаружил более сильную корреляционную связь процесса фотосинтеза растений с числом фотонов, чем с энергией облучения. При этом фотосинтез управляется и количественно пропорционален числу фотонов, поглощаемых листьями, и обусловлен светом только в определённом диапазоне длин волн. Учёный выразил обеспокоенность тем, что спектр излучения, используемого в фотосинтезе, существенно различается в разных исследованиях, и заявил о важности оценивать скорость фотосинтеза всеми по одним и тем же критериям.

Известно [1, 2], что спектр оптического излучения можно условно разбить на участки в соответствии с их влиянием на физиологические процессы: с  $\lambda > 1000$  нм – тепловое воздействие;  $\lambda = 700–750$  нм («дальний красный») – ярко выраженное регуляторное действие;  $\lambda = 600–700$  нм («красный») – максимальное фотосинтетическое действие, синтез хлорофилла, вызывание эффекта фотопериодизма;  $\lambda = 500–600$  нм («зелёный») – обеспечение фотосинтеза в оптически плотных листьях и густых посевах растений (благодаря высокой проникающей способности);  $\lambda = 400–500$  нм («синий») – поглощение каротиноидами, второй пик фотосинтеза, ростовой и формативный эффекты;  $\lambda = 320–400$  нм – регуляторная роль в развитии растений;  $\lambda = 280–320$  нм (УФ–В) – оказание вреда большинству растений;  $\lambda < 280$  нм (УФ–С) – вызывание гибели растений.

## О разработке методики измерений

Условно зелёный лист можно рассматривать как плоский светофильтр, пропускающий и отражающий лучистую энергию. В отличие от традиционных стеклянных светофильтров лист – светофильтр существенно светорассеивающий, что сильно осложняет измерение лучистой энергии, им пропускаемой, отражаемой и поглощаемой. Причём по спектрам пропускания и отражения листья большинства культур весьма близки между собой. Как правило, максимумы отражения и пропускания листьев лежат в «зелёной» части спектра (на  $\lambda_{max} \approx 550$  нм), а их спектр поглощения имеет два максимума: один в «синефиолетовой» ( $\lambda_{max} \approx 440$  нм) и другой в «красной» ( $\lambda_{max} \approx 660$  нм) частях.

Известны попытки создать единый приёмник излучения (ПИ) для всех

растений и условий. Но серийно выпускать единый ПИ с совершенной спектральной характеристикой, если он не спектрорадиометр, проблематично. При этом определяется только интенсивность падающего излучения в диапазоне ФАР без учёта поглощающей способности растений и излучательных характеристик источников излучения в этом диапазоне. Однако это позволяет для регистрации облучённости растений применять тепловые ПИ (фитопиранометры) [3].

В мировой практике было принято соглашение, которое позволяет определять и измерять ФАР-облучённость (PAR) как падающий фотонный поток в спектральном диапазоне 400–700 нм. В литературе термины «PAR», «PPF» (поток фотонов фотосинтеза) и «PPFD» (Photosynthetic Photon Flux Density, плотность потока фотонов фотосинтеза) стали использовать как взаимозаменяемые.

Внедрение новых технологий в тепличное растениеводство (овощеводство и цветководство), задачи по со-



Рис. 1. Внешний вид спектрофотометра «ТКА-Спектр» (ФАР)

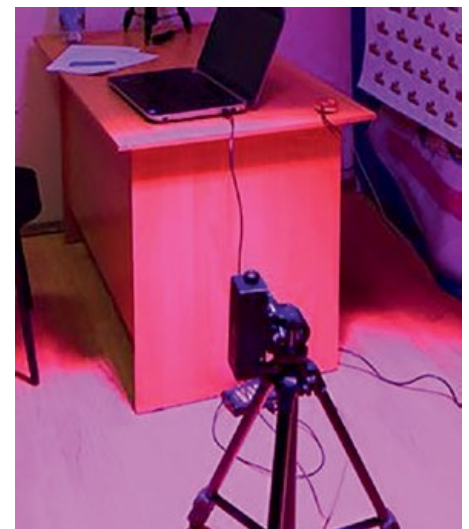


Рис. 2. Рабочий момент измерений



Рис. 3. Среднестатистическая относительная спектральная эффективность фотосинтеза для разных видов растений (от 6 разных авторов, по 66 экспериментальным данным)

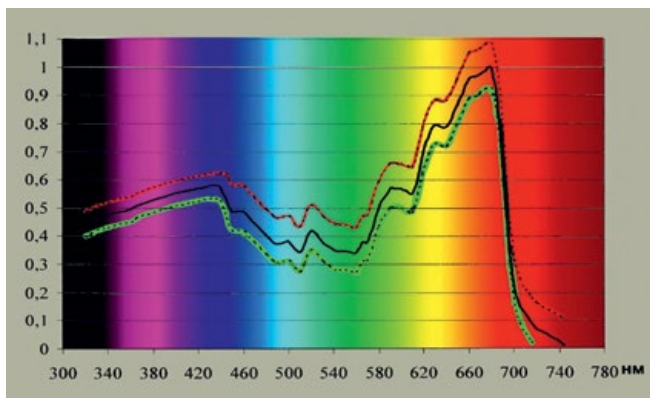
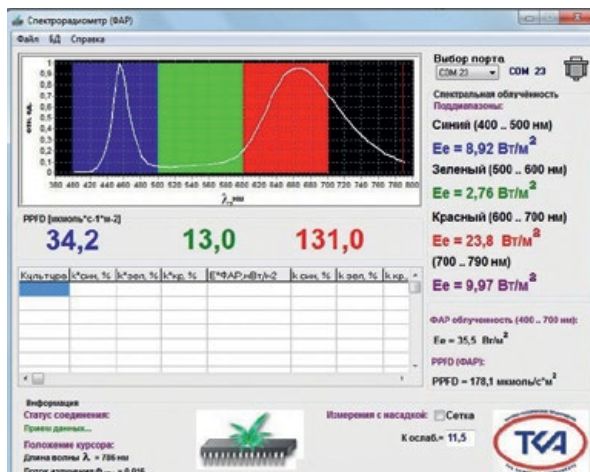


Рис. 4. Рабочее окно программного обеспечения



вершенствованию нормирования характеристик облучательных установок (ОУ) и экономии электроэнергии, грамотное сопоставление вариантов ОУ — всё это требует применения современных технических средств, обеспечивающих измерение параметров оптического излучения с достаточной точностью и надёжностью во всём спектральном диапазоне.

В ходе разработки методики «Оперативная оценка энергоэффективности потока оптического излучения в условиях интенсивной светокультуры» нами совместно с ГНУ СЗНИИМЭСХ РАСХН создан соответствующий измерительный прибор — спектрофотометр «ТКА-Спектр» (ФАР) (рис. 1 и 2).

В его основе — определение значений *PPFD* по принципу оценки числа фотонов.

Оценка эффективности растениеводческих источников излучения по потоку фотонов требует корреляции числа фотонов со способным его воспринимать числом молекул вещества. Поскольку в идеале каждый фотон способен возбудить молекулу пигмента, можно говорить о некотором количественном соответствии падающих

фотонов молекулам вещества, способным их воспринимать.

Идеология построения данного измерительного прибора вытекала из особенности фотобиологического действия излучения на растение. Так, например, в результате фотосинтеза (этой наиболее распространённой в природе фотореакции) лучистая энергия трансформируется в химическую. На рис. 3 показан график спектральной эффективности фотосинтеза для растений.

Спектральная характеристика выпускаемых ПИ (фотоэлементов) не совпадает со спектральной характеристикой фотосинтеза, поэтому первую необходимо корректировать под требуемую вторую. Самый простой из методов корректирования состоит в использовании светофильтров из цветных оптических стёкол путём последовательного наложения их перед ПИ. Однако получение П-образной спектральной характеристики (чувствительности) ПИ с границами, совпадающими с границами требуемой спектральной зоны, технически очень сложно. И мы отказались от этого подхода ввиду отсутствия в серийном производстве на территории

СНГ соответствующей номенклатуры оптических стёкол.

### Принцип работы прибора

Работа созданного прибора основана на измерении спектра оптического излучения с последующей математической обработкой результатов измерений. Диспергирующее устройство представляет собой полихроматор с регистрацией разложенного излучения фотодиодной линейкой. Прибор является продолжением отработанной технологии серийно выпускаемого средства измерения — спектроколориметра «ТКА-ВД» [4]. Знание спектра измеряемого источника излучения позволяет решить практически любую задачу по определению его характеристик, хотя и технически сложным, трудоёмким образом.

Прибор представляет собой прямоотсчётное устройство с выводом спектральных значений облучённости в  $Вт/м^2$  и спектральных значений *PPFD* в  $мкмоль/(м^2 \cdot с)$ . Программное обеспечение (ПО) прибора разделено на две части. Метрологически значимая часть ПО устанавливается изготовителем непосредственно в программируемом постоянном запоминающем устройстве (ППЗУ) микроконтроллера управления прибором, а интерфейсная часть ПО запускается на ПК и служит для отображения принимаемых данных (как в табличном, так и в графическом виде) и сохранения результатов измерений (рис. 4).

Всё чаще внимание исследователей обращается к энергетическим аспектам в связи с ростом потребления электроэнергии на облучение. Для сельскохозяйственных объектов стали использовать источники излучения и облучатели с более высокими показателями энергоэффективности. Для исследовательской работы оператор может завести базу нормированных таблиц для облучаемых культур и проводить расчёты значений таких новых показателей энергоэффективности излучений и источников излучения для разных культур, как коэффициент отклонения спектра культуры, спектральная энергоёмкость, энергоёмкость облучённости и полная энергоёмкость [5].

Расчётные значения отображаются на экране и могут быть переданы в книгу *Microsoft Excel*. Данная воз-

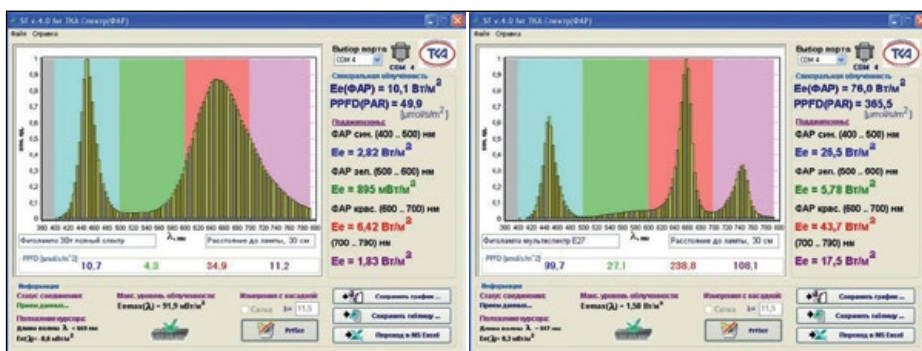


Рис. 5. Сравнение параметров фитоламп (3 Вт, цоколь E27, измерительное расстояние 0,3 м)

возможность позволяет повысить точность измерений без использования дополнительных средств измерения, только за счёт повышения требований к квалификации операторов. Использование для вычислений книги *Microsoft Excel*, а не создание специализированной программы на языке высокого уровня, может способствовать широкому распространению описанной методики. Она даёт возможность исследования источников излучения и принятия решений о возможности и путях их использования, а также позволяет минимизировать негативное воздействие указанного излучения.

Для оценки степени совершенства ОУ целесообразно использовать категорию «энергоэффективность», которая, кроме энергетических показателей, должна также охватывать качество облучения, определяемое степенью равномерности распределения поглощаемой энергии излучения по поверхности или объёму среды облучаемого объекта.

### Заключение

Спектрофотометр хорошо себя рекомендовал при исследованиях светодиодных тепличных растениеводческих ламп и их китайских аналогов, которые проводит лаборатория фитосвета *FitoLabb.ru*. Именно спектральный состав и уровень *PPFD* определяют эффективность использования для данного растения той или иной лампы, включая оценку того, насколько хорошо (быстро) будет происходить рост светокультуры.

Следует отметить, что при определении основных метрологических характеристик канала измерения энергетической освещённости нами использовалась фотометрическая метрологическая база. Контроль

качества растениеводческих ламп и полезной облучённости в производственных условиях необходимо проводить приборами со спектральной чувствительностью, достаточно скорректированной под спектральную эффективность фотосинтеза, или спектральными приборами.

При проведении такого рода измерений для градуировки приборов необходимы светоизмерительные лампы с известными значениями силы эксэргии излучения. Расчёт силы эксэргии излучения образцовых ламп, световой поток и сила света которых определены при заданной цветовой температуре нити накала, не представляет трудностей и не требует дополнительных фотометрических измерений [6].

Целью этой статьи являлось дальнейшее развитие диалога между производителями, потребителями светотехнической продукции, инженерами метрологических служб и исследовательских лабораторий для совместной выработки правильных решений в следующих областях: методики измерений; метрологическое обеспечение измерений; разработка новых приборов для растениеводов и их модернизация. Приглашаем к обсуждению данной проблематики и сотрудничеству заинтересованных специалистов.

НТП «ТКА» продолжает совместно с другими научными организациями и лабораториями вести исследования по определению изменений свойств материалов под действием излучения светодиодов с целью повышения качества светильников и облучателей с этими источниками излучения. И в связи с этим, в частности, создана новая версия ПО для оперативного анализа спектра источников излучения (рис. 5).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
2. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 242 с.
3. Казенас В.Ю. Биофотометрический контроль облучения растений / Тр. I Межд. светотех. конф. 14–18.06.1993, Санкт-Петербург. — СПб: Б.и., 1993. — С. 97–98.
4. Антонов В.В., Круглов О.В., Кузьмин В.Н. Приборы для измерения оптических параметров и характеристик светодиодов // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № 3. — С. 26–31.
5. Ракутько С.А., Судаченко В.Н., Маркова А.Е. Оценка эффективности применения оптического излучения в светокультуре по величине энергоёмкости // Плодоводство и ягодоводство России. — 2012. — № 33. — С. 270–278.
6. Свенцицкий И.И., Обычный А.Н. Метод измерения эксэргии оптического излучения для растениеводства / Сб. «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Тр. 3 Межд.н.-т. конф.». Ч. 1 («Возоб. ист. энергии»). — М.: ГНУ «ВИЭСХ», 2003. — С. 260–266.



**Кузьмин Владимир Николаевич**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1971 г. Кишинёвский государственный университет по специальности «Оптика и спектроскопия». Зам. генерального

директора НТП «ТКА» по оптике и фотометрии. Область научных интересов: разработка методов и приборов для измерения параметров и характеристик источников оптического излучения



**Николаев Сергей Евгеньевич**, инженер. Окончил в 2001 г. Северо-Западный государственный заочный технический университет по специальности «Проектирование

и технология радиоэлектронных средств». Заведующий лабораторией проектирования и конструирования опико-электронных приборов НТП «ТКА». Область научных интересов – проектирование и технология производства приборов для измерения параметров и характеристик источников оптического излучения



# Оптимизация солнцезащитных устройств и повышение энергоэффективности искусственного освещения учебного здания\*

Г. БАЙРАМ, Т. КАЗАНАСМАЗ

Измирский технический институт, Измир, Турция

Email: gozebayram@gmail.com, tugcekanasmaz@iyte.edu.tr

## Аннотация

Высокий уровень естественного освещения имеет решающее значение для повышения успеваемости и производительности труда студентов и преподавателей, находящихся в учебных зданиях, которые используются, главным образом, в дневное время. Новые проектные решения способны обеспечить оптимальные условия освещения и минимизировать потребление электроэнергии, и задачами данного исследования были проведение оценок и разработка проекта энергоэффективного освещения учебного здания. Целью работы был выбор оптимального солнцезащитного устройства, имеющего требуемые углы наклона пластин, и коэффициента пропускания остекления, а также типов и расположения светильников. При помощи программы «*DIALux*» различные комбинации этих входных параметров были рассмотрены применительно к аудиториям, офисам и лабораториям, которые отличаются друг от друга своими ориентацией, размерами, характеристиками окон и конструкцией фасадов. Были охвачены все важные дни года (дни зимнего и летнего солнцестояния и весеннего и осеннего равноденствия). Подобный обобщённый подход будет полезен при проектировании освещения и модернизации зданий.

**Ключевые слова:** модернизация, солнцезащитное устройство, энергия, естественное освещение, искусственное освещение, моделирование.

## 1. Введение

Окружающая среда оказывает существенное влияние на успеваемость и внимательность студентов, находящихся в учебных зданиях, которые

используются, в основном, в дневное время [1, 2]. Главная задача состоит в том, чтобы эффективно использовать естественное освещение, исключая при этом зрительно некомфортные условия (например, блёскость из-за избыточной освещённости) и реализуя энергоэффективные варианты освещения. Особое внимание следует уделять проектированию освещения и его последующей модернизации.

Хотя энергоэффективные светильники и источники света обычно выбирают и размещают должным образом, неправильно спроектированные учебные здания, не удовлетворяющие требованиям к уровням и равномерности освещённости, допускают нерациональное использование искусственного освещения. Согласно нормативным документам, в аудиториях и офисах горизонтальная освещённость на рабочей поверхности должны быть в пределах от 300 до 500 лк. Более высокие, от 500 до 750 лк, освещённости должны обеспечиваться в лабораториях [3]. Согласно *DIN5034*, равномерность освещённости должна превышать 0,67 [4]. В качестве примера неправильного проектирования можно привести неконтролируемое попадание через остекление фасада, не имеющего никаких устройств солнцезащиты, прямого солнечного света, бороться с которым можно только при помощи штор, полностью блокирующих попадание дневного света внутрь помещения. С другой стороны, избыточное количество дневного света внутри помещения и его неравномерное распределение приводят к возникновению блёскости. В этих случаях солнцезащитные устройства обеспечивают возможность управления солнечным светом для регулирования уровня освещённости.

Влияние солнцезащитных устройств и ориентации зданий на эф-

фективность естественного и энергоэффективность искусственного освещения исследовалось в целом ряде работ [5, 6]. В одном исследовании проведён анализ влияния остекления фасадов на оценку пользователями зрительного комфорта и были высказаны рекомендации в части независимого управления естественным освещением с целью уменьшения энергопотребления в офисном здании [7]. В другом исследовании рассмотрены несколько вариантов модернизации освещения холла в университетском городке. В нём для каждого из вариантов были проведены расчёты энергопотребления при использовании СД и нескольких типов люминесцентных ламп (ЛЛ) [8]. В ещё одном исследовании предложен упрощённый метод прогнозирования экономии энергии, расходуемой на искусственное освещение, при разных вариантах естественного освещения [9], тогда как другие исследования были посвящены влиянию внешних солнцезащитных устройств на проникновение дневного света и его эффективность [10].

Целью данного исследования была модернизация освещения учебного здания посредством выбора типа солнцезащитного устройства и углов наклона его пластин, которые были бы оптимальны для ориентированных по-разному помещений. Ещё одной задачей было выявление энергоэффективных типов и расположений светильников, обеспечивающих как требуемые равномерность освещённости и уровень освещённости в глубине помещений, так и минимальное энергопотребление. Так что в этой работе естественное и искусственное освещение рассматриваются совокупно. Влияние (характеристик углов наклона пластин и типов солнцезащитных устройств, коэффициентов пропускания остекления, а также типов ламп и типов и местоположения светильников) определяли и сравнивали применительно к различным вариантам освещения учебного здания.

## 2. Методика

### 2.1. Описание помещений и измерений

Было рассмотрено учебное здание Измирского технического института (38° северной широты, 26° восточной

\* Перевод с англ. Е.И. Розовского



Геометрические характеристики выбранных помещений

		Помещение А	Помещение В	Помещение С	Помещение D	Помещение E	Помещение F
Ориентация		Юго-восток	Юго-запад	Северо-запад	Северо-восток	Юго-запад	Юго-восток
Описание	Тип	Аудитория	Аудитория	Офис	Лаборатория	Офис	Лекционный зал
	Кол-во рядов светильников/Общее кол-во светильников	3/9	3/9	6/18	3/30–3/24	3/3	4/24
	Ширина, м	6,40	6,40	6,50	22,90	3,10	13,00
	Глубина, м	9,80	9,80	12,40	12,10	6,60	9,85
	Высота, м	3,60	3,60	3,30	3,30	2,60	3,40
	Площадь пола, м <sup>2</sup>	61,13	62,83	80,36	268,82	19,70	128,19
Окна	Ширина, м	2,90	2,90	2,90	2,90	0,95	0,95 и 1,40
	Высота, м	2,55	2,55	1,80	1,80	2,50	2,35
	Высота от уровня пола, м	1,05	1,05	1,05	1,05	0,10	1,05
	Полная площадь остекления, м <sup>2</sup>	14,80	14,80	10,44	36,54	4,75	18,92
	Отношение площади окон к площади стены, %	63	63	49	48	59	43

долготы). Для моделирования в программе «DIALux» [11] были выбраны шесть помещений этого здания. Их физические и геометрические характеристики, местоположение и технические характеристики системы искусственного освещения были взяты из архитектурных чертежей, схем электрического освещения и результатов наблюдений (табл. 1, рис. 1).

Измерения горизонтальной освещённости, создаваемой естественным освещением на рабочей поверхности, производились 4 декабря в 14:30 при помощи цифрового люксметра с приёмной головкой с кремниевым фотодиодом. Диапазон измерений этого прибора – 0,01–299900 лк. Небо было частично облачным. Оптические характеристики остекления и материалов поверхностей были измерены и рассчитаны при помощи люксметра и яркомера по методике, описанной ранее [12]. Коэффициенты отражения стен, пола и потолка были равны, соответственно, 68, 25 и 87%. Измеренный коэффициент пропускания остекления оказался равным 36%. Измеренные значения были введены в программу «DIALux» до рассмотрения разных вариантов освещения, для



Рис. 1. Вид на окна помещения В изнутри (а) и снаружи (б)

обеспечения соответствия реальным условиям.

## 2.2. Альтернативные варианты освещения, рассмотренные при помощи программы «DIALux»

«DIALux» проводит расчёты освещённости, создаваемой в дневное время, учитывая при этом естественное освещение, наружные препятствия, искусственное освещение и его энергопотребление [11]. Моделирование осуществлялось применительно к разным солнцезащитным устройствам, светильникам и остеклениям рассматриваемых помещений. Были предложены альтернативные варианты

модернизации освещения (S1–S9), соответствующие разным комбинациям входных параметров. Этими входными параметрами являлись коэффициент пропускания остекления, тип солнцезащитного устройства, угол наклона пластин, тип светильников и их расположение. При моделировании использовались три коэффициента пропускания остекления (GT): высокий – 90% (GT1), средний – 70% (GT2) и низкий – 50% (GT3). При расчётах считалось, что поверхность стены отражает свет лучше, чем в реальности (был принят коэффициент отражения 80%). Базовый вариант (S0) был реализован с использованием реальных измеренных значений.

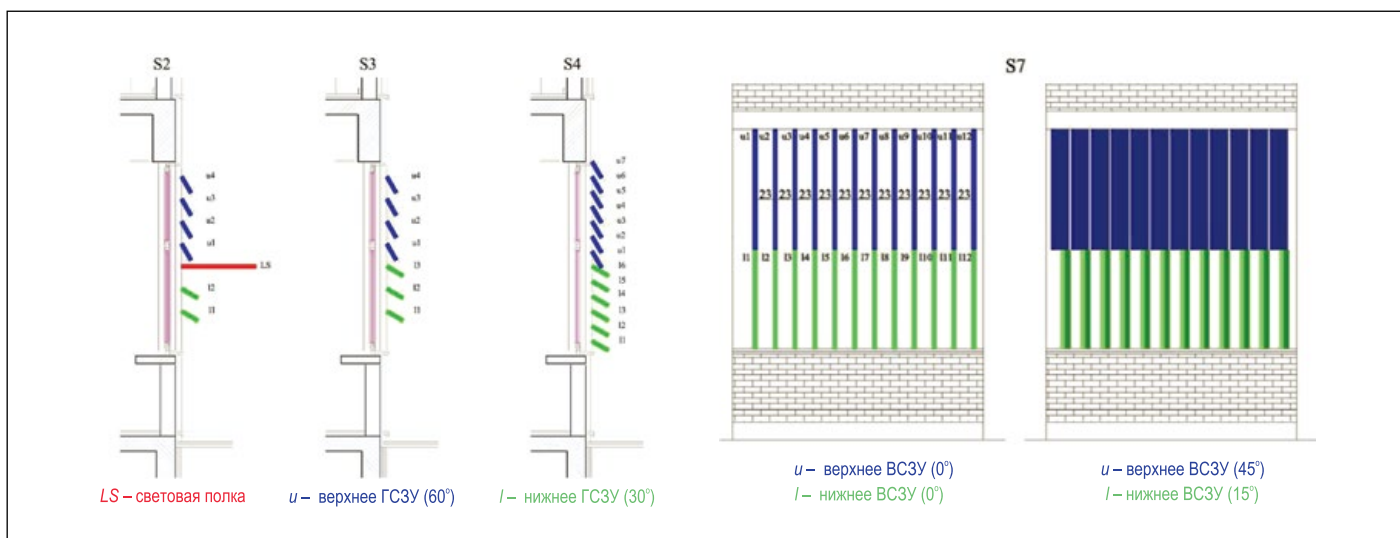


Рис. 2. Примеры солнцезащитных устройств

Солнцезащитное устройство служит для обеспечения равномерности распределения освещённости на горизонтальной рабочей поверхности, препятствуя попаданию в помещение избыточного солнечного света для предотвращения перегрева. Для каждого из окон были предложены три типа солнцезащитных систем (световые полки, горизонтальные солнцезащитные устройства (ГСЗУ) и вертикальные солнцезащитные устройства (ВСЗУ)) с разными углами наклона пластин и разными расстояниями между пластинами (рис. 2). Углы наклона пластин можно было изменять в интервале 0–90° с шагом 15°, где 0° считается закрытым состоянием, а 90° – открытым. Эти углы наклона использовались как применительно к ГСЗУ, так и к ВСЗУ. Ширина пластин считалась равной 25 см. Верхние и нижние пластины двигаются независимо друг от друга. Например, в варианте 3 (S3) рассматривалось ГСЗУ с расстоянием между пластинами 30 см и всеми углами наклона (0, 15, 30, 45, 60, 75 и 90°).

В реальности в этом здании использовались встроенные светильники с 4 ЛЛ TLD мощностью 18 Вт. Полная мощность такого светильника равна 70 Вт, а его полный световой поток равен 3834 лм. Варианты модернизации предусматривали замену существующих светильников на светильники с СД. Общая мощность создающей аналогичный световой поток (3400 лм) панели с СД была равна 41 Вт. Учитывая важность минимизации плотности расходуемой на освещение энергии [13], для мо-

дернизации были выбраны именно светильники с СД, создающие аналогичный световой поток. Расположение светильников определялось в соответствии с количеством рядов включённых светильников. Например, один из вариантов расположения светильников предусматривал один ряд работающих светильников, расположенный около задней стены, при выключенных остальных светильниках, тогда как в другом варианте количество рядов работающих светильников равнялось двум.

Выходными параметрами являлись освещённость (лк), равномерность освещённости, количественный показатель энергетической эффективности искусственного освещения здания *LENI* (*Lighting Energy Numeric Indicator*) (кВт·ч/(год·м<sup>2</sup>)) и годовое потребление энергии на освещение (кВт·ч/год). Согласно европейскому стандарту *EN-15193*, в учебных зданиях, освещение которых удовлетворяет основным нормативным требованиям, значения *LENI* должны лежать в диапазоне 27–34,9 кВт·ч/(год·м<sup>2</sup>) [14].

Так как в лабораториях освещённость должна быть выше, чем в аудиториях (500–750 и 300–500 лк соответственно) [3], то для них значение *LENI* должно составлять 41,8–51,9 кВт·ч/(год·м<sup>2</sup>) при удовлетворении основных нормативных требований к освещению [14]. Согласно *DIN5034* [4], равномерность освещённости должна превышать 0,67. В целом, на освещение расходуется почти 10–50% от общего количества энергии, потребляемой зданиями, а в офисных

зданиях эта доля составляет 30–40%. Последние исследования, направленные на поиск новых проектных и технических решений в области освещения зданий, ставили целью снижение *LENI* ниже 10 кВт·ч/(год·м<sup>2</sup>) [13, 15]. Для расчёта энергопотребления зданий в Турции были утверждены «Требования к энергоэффективности зданий» (2008 г.) и «Метод проведения энергетических расчётов», в основу которых был положен европейский стандарт *EN-15193* [14], в котором и был введён параметр *LENI*. Известно, что *LENI* зависит от наличия и характера изменения естественного освещения, а так как в Измире этот характер отличается от европейского, то и рекомендуемые в *EN-15193* значения *LENI* могут не соответствовать реальной ситуации в Измире. Проводя исследования, подобные описанным в данной статье, можно получать полезную информацию для разработки новых стандартов и рекомендаций, важных для реальных турецких климатических условий.

Потребление энергии было рассчитано для трёх трёхчасовых периодов (9:00–12:00, 12:00–15:00 и 15:00–18:00) дней зимнего и летнего солнцестояния и весеннего и осеннего равноденствия. Год был разделён на четыре периода в соответствии с сезонами. Принятое нами допущение состоит в том, что результаты, полученные применительно к одному важному дню, такому как день зимнего солнцестояния, применимы и к остальным дням соответствующего (то есть зимнего) периода. Каждый из сезонов, характеризующихся дня-

ми зимнего и летнего солнцестояния и весеннего и осеннего равноденствия, охватывает 75 рабочих дней. Годовое потребление электроэнергии соответствует 300 дням. Поэтапная последовательность проведения расчётов приведена на рис. 3.

Если говорить подробно, то модернизация состоит из нескольких этапов. Во-первых, при помощи программы «DIALux» были рассчитаны базовые варианты для 21 декабря и 21 июня и для 21 марта и 21 сентября. На втором этапе для одного дня (21 декабря) было проведено моделирование применительно ко всем семи вариантам улучшения естественного освещения и энергоэффективности. Все расчёты проводились применительно к условиям чистого неба. На третьем этапе были выбраны один вариант, предусматривающий использование ГСЗУ, позволившее получить оптимальные значения освещённости и равномерности освещённости, и ещё один вариант, предусматривающий использование ВСЗУ. На четвертом этапе в этих двух оптимальных вариантах используемые в настоящее время светильники с ЛЛ были заменены на светильники с СД. Полученные варианты были обозначены как S8 и S9 соответственно, и применительно к ним были проведены расчёты энергоэффективности и сравнение освещённости и равномерности освещённости. Расчёт годового потребления энергии (формулы (1) – (3)) был упрощён в соответствии с EN-15193. Он учитывает количество работающих светильников и продолжительность их работы в день зимнего солнцестояния применительно к вариантам S8 и S9. Например, один ряд состоит из трёх светильников, которые включают только на 3 ч, а именно, в полдень.

$$\text{Суточное потребление энергии} = (\text{Мощность светильника}) \times (\text{Количество работающих светильников}) \times (\text{Время работы}) \quad (1)$$

$$\text{Сезонное потребление энергии} = (\text{Суточное потребление энергии}) \times (75 \text{ дней}) \quad (2)$$

$$\text{Значение LENO для сезона} = (\text{Сезонное потребление энергии}) / (\text{Площадь пола}) \quad (3)$$

Произведённое выше упрощение расчётов делает их более гибки-

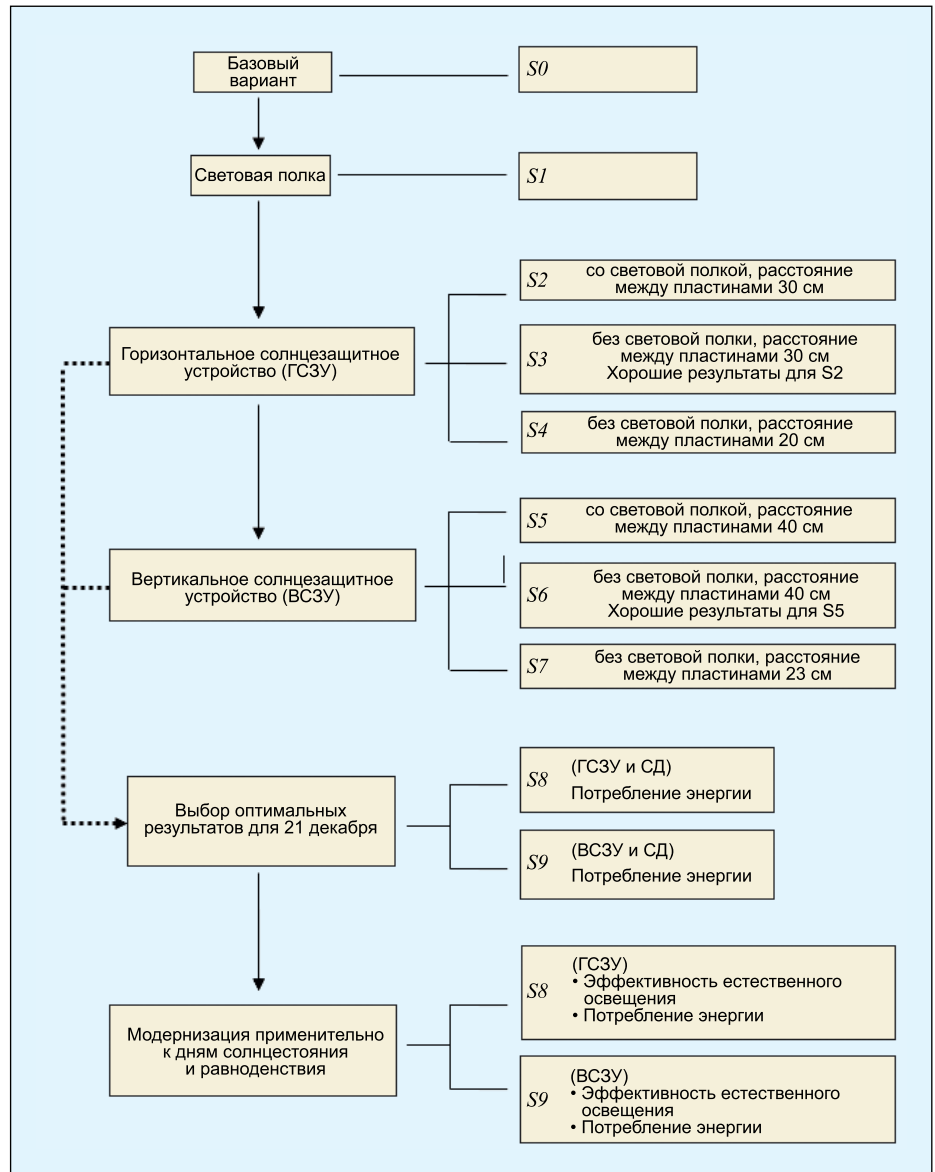


Рис. 3. Последовательность проведения расчётов

ми и позволяет производить быстрые оценки. Суммирование сезонных потреблений энергии позволяет определять годовое потребление энергии.

На пятом этапе для дней весеннего и осеннего равноденствия и летнего солнцестояния было проведено моделирование оптимальных вариантов с ГСЗУ (S8) и с ВСЗУ (S9), в которых использовались не светильники с СД, а светильники с ЛЛ. На шестом этапе были модернизированы варианты, приводящие к неравномерному распределению естественного света, для чего были использованы вертикальные и горизонтальные пластины, имеющие разные углы наклона. И наконец, результаты, полученные применительно к дням солнцестояния и равноденствия, позволили выбрать усовершенствованные вариан-

ты, включающие в себя оптимальные солнцезащитные устройства, углы наклона пластин и расположение и тип осветительных приборов. Расчёты позволили получить значения энергии, потребляемой светильниками с ЛЛ и СД во все сезоны. Приведённые здесь сезонные значения *LENI* (*sLENI*) необходимы для оценки каждого из вариантов в отдельности с учётом их соответствия сезонным условиям. В рамках описанной методики, выбор оптимальных ГСЗУ и ВСЗУ был основан на условиях, соответствующих дням солнцестояния и равноденствия, и выраженных показателем *LENI* уровнях энергопотребления. Оптимальное использование ГСЗУ и/или ВСЗУ обеспечивает требуемые условия естественного освещения (освещённость и равномер-



ность освещённости), которые играют решающую роль при определении расположения работающих в дневное время светильников. Полученные результаты позволили определить светильники, которые следует учитывать при расчёте энергопотребления, и, между прочим, при расчёте *LENI*. Последующие этапы позволили определить наименьшее значение энергии, которое можно обеспечить в результате замены светильников с ЛЛ на светильники с СД.

### 3. Результаты исследования

Полевые измерения проводились для определения реальных характеристик естественного освещения и подтверждения правильности базового варианта посредством сравне-

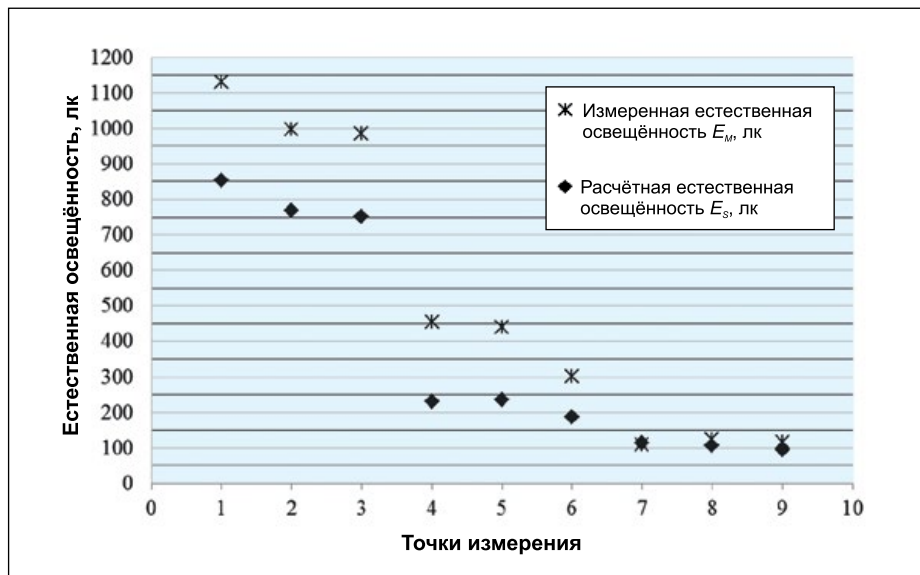


Рис. 4. Сравнение измеренных и расчётных значений естественной освещённости в помещении В

Таблица 2

#### Результаты, полученные применительно к ГСЗУ, установленному в помещении А, выходящем на юго-восток

СЗУ: Солнцезащитное устройство (длина = 25 см) КС: Компоновка светильников Панель: Длина = 25 см Вертикальная Высота: высота окна		Угол: $u$ – верхнее СЗУ; $l$ – нижнее СЗУ $n$ – Количество рядов светильников (включённых)		Местоположение: верх каждой из сторон окна				
Время	Дни солнцестояния и равноденствия	Угол СЗУ	$n$	Освещённость, лк			Равномерность освещённости	
				$E_{ср}$	$E_{мин}$	$E_{макс}$	$\frac{U_1}{E_{мин}/E_{ср}}$	$\frac{U_2}{E_{мин}/E_{макс}}$
9:00	21 декабря	$u = 30^\circ$ $l = 75^\circ$	2	487	396	591	0,81	0,67
	21 марта	$u = 60^\circ$ $l = 75^\circ$	2	513	459	605	0,89	0,76
	21 июня	$u = 0^\circ$ $l = 90^\circ$	1	478	300	589	0,63	0,51
	21 сентября	$u = 45^\circ$ $l = 75^\circ$	2	504	442	597	0,88	0,74
12:00	21 декабря	$u = 75^\circ$ $l = 75^\circ$	2	487	394	598	0,81	0,66
	21 марта			446	326	577	0,73	0,57
	21 июня	$u = 75^\circ$ $l = 45^\circ$		547	500	657	0,91	0,76
	21 сентября	$u = 75^\circ$ $l = 75^\circ$		450	338	579	0,75	0,58
15:00	21 декабря	$u = 15^\circ$ $l = 60^\circ$	2	507	439	602	0,87	0,63
	21 марта			566	520	642	0,92	0,81
	21 июня			508	438	612	0,86	0,72
	21 сентября	$u = 45^\circ$ $l = 90^\circ$		488	387	593	0,79	0,65

ния значений освещённости и равномерности освещённости. При оценке солнцезащитных устройств расчётные значения освещённости и равномерности освещённости были выбраны равными 500 лк и 0,6 в соответствии с рекомендациями [12–14]. В помещении В была отмечена неравномерность естественного освещения. Равномерность освещённости была очень низкой (почти 0,1–0,2), а освещённость примерно в половине точек была ниже нормируемой (500 лк). Прилегающий к окну участок был очень ярким по сравнению с отдалённой от окна частью помещения (рис. 4). Так что требовалось предложить солнцезащитное устройство, которое позволило бы обеспечить равномерное распределение естественного освещения.

Для проверки правильности моделирования в программе «DIALux» были использованы методы линейной регрессии. Коэффициент детерминации  $R^2$  и линейное уравнение регрессии были получены при помощи Excel. Значение  $R^2$  оказалось равным 0,97, что говорит о большой точности модели. То есть расчётные значения позволяли прогнозировать реальные значения с вероятностью 97%. Соответственно, результаты моделирования очень хорошо согласуются с результатами измерений. Обычно измеренные значения освещённости были несколько больше расчётных (рис. 4).

Расчёты проводились применительно к 9:00, 12:00, 15:00 и 18:00 дней зимнего и летнего солнцестояния и весеннего и осеннего равноденствия и безоблачному небу. В «DIALux» были реализованы все возможные сочетания углов наклона пластин, остекления и светильников в рамках вариантов, о которых упоминалось выше. Так что для каждого из рассматривавшихся помещений было выполнено почти 250 расчётов. Так как это было сделано для всех шести помещений, то в целом при проведении оценок использовались результаты 1500 расчётов.

Если говорить о результатах, полученных применительно к помещению А, то в нём имела место неравномерность распределения естественной освещённости, обусловленная тем, что 21 декабря в это помещение попадал солнечный свет. Этот день соответствует наихудшему варианту, так

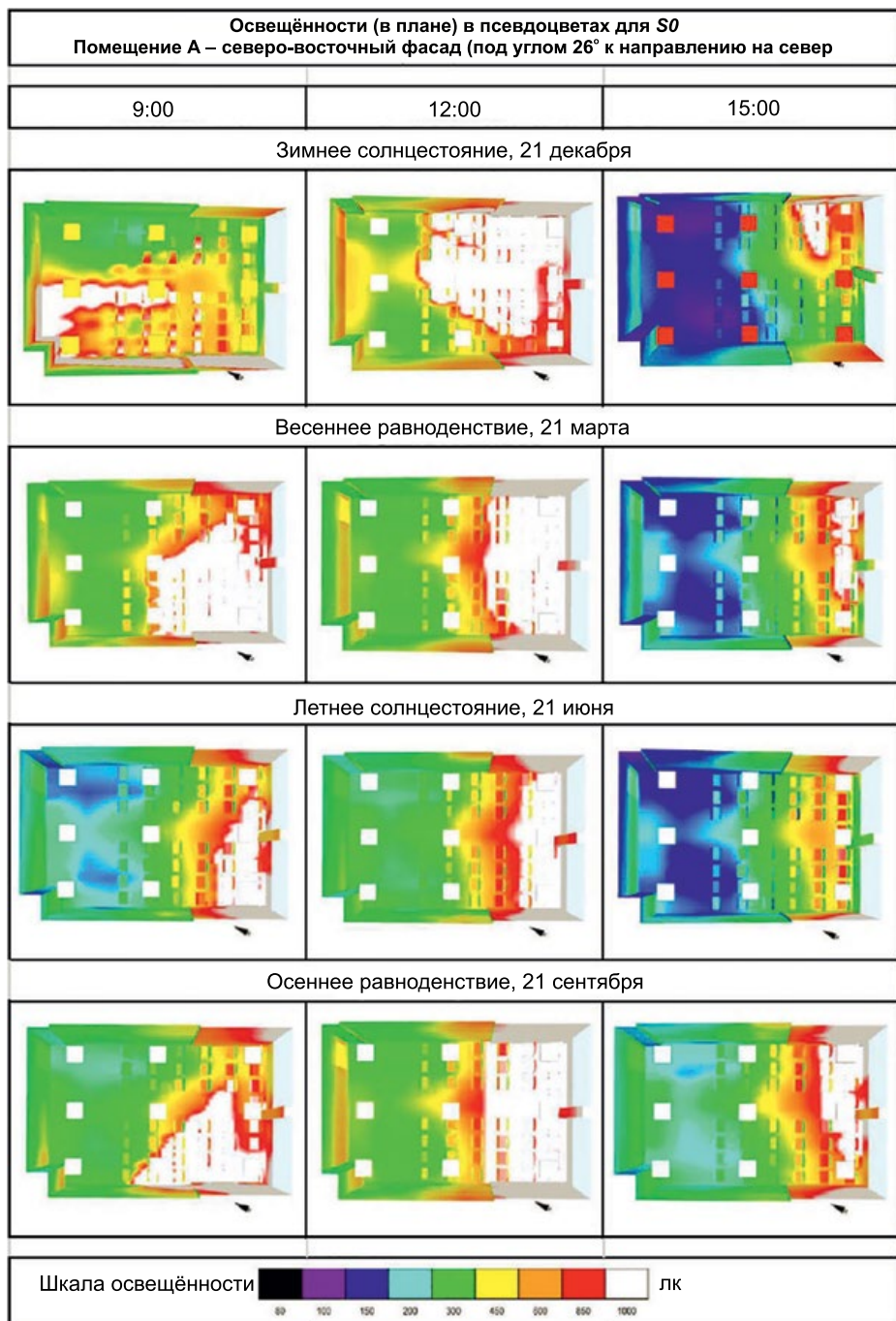


Рис. 5. Распределение естественной освещённости в помещении А для S0

как высота солнца обеспечивает наименьшие углы падения солнечного света. Дальней стены прямой солнечный свет может достигать в утренние часы, а середины помещения – в полдень (рис. 5). Естественная освещённость превышает примерно 1000 лк на протяжении большей части дня. Даже в летний период неприятно яркая область утром и в полдень занимала почти треть общей поверхности пола. В наиболее тёмную часть этого помещения на протяжении всего года попадало очень мало естественного света. В условиях этой аудитории

для защиты от солнечного света нужны были шторы. Однако они приводят к необходимости использования искусственного освещения в дневное время.

Для улучшения этих неблагоприятных условий освещения, в варианте S4 были использованы ГСЗУ, расстояние между пластинами которых было равно 20 см (табл. 2). Они регулировали поступление солнечного и дневного света, а равномерность распределения освещённости лежала при этом в интервале от 0,46 до 0,89. Это обеспечило комфортную и бод-

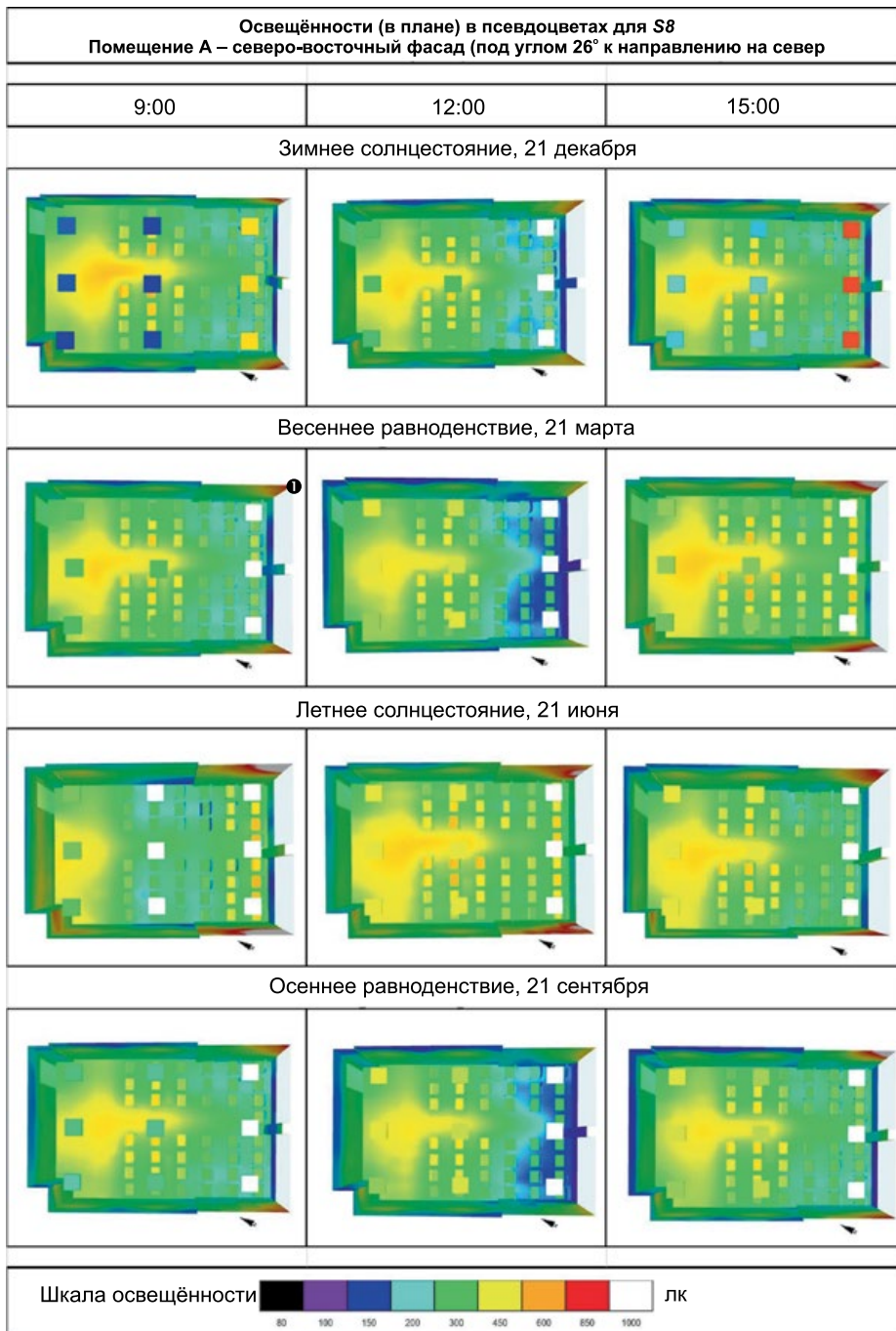


Рис. 6. Представленное в псевдоцветах распределение освещённости (в плане) в помещении А для модернизированного варианта S8

рящую зрительную среду. При всех коэффициентах пропускания остекления (*GT1*, *GT2* и *GT3*) естественная освещённость оставалась в нормируемом диапазоне (300–500 лк). С точки зрения равномерности в случае ГСЗУ наилучшим решением оказалось *S4-GT1*. В этом варианте углы наклона верхних и нижних пластин утром были равны 30 и 75° соответственно. В полдень углы наклона всех пластин равнялись 75°, и были включены два ряда светильников. После полудня углы наклона верхних и ниж-

них пластин равнялись, соответственно, 15 и 60°, и были включены два ряда светильников.

Вариант *S7-GT3* был предложен как самый оптимальный из всех вариантов использования ВСЗУ. В нём углы наклона верхних и нижних пластин утром равнялись 45 и 30° соответственно, и были включены два ряда светильников. В полдень углы наклона верхних и нижних пластин были, соответственно, 45 и 75°, а для поддержания нормированного уровня освещения у задней стены требо-

вался только один ряд светильников. Так как после полудня углы наклона всех пластин солнцезащитной установки были равны 75°, то полученные в результате очень низкие уровни освещённости были увеличены посредством включения всей установки искусственного освещения.

В вариантах *S4-GT1* и *S7-GT3* светильники с ЛЛ были заменены на светильники с СД. Первый из получившихся вариантов мы обозначили как *S8*, а второй – как *S9*. Фотометрические характеристики светильников с СД обеспечили увеличение равномерности. В полдень равномерность возросла с 0,79 (*S4-GT1*) до 0,92 (*S8*) (рис. 6). Утром она увеличилась до 0,82 (*S9*).

На рис. 7 приведены значения *sLENI* для оптимальных вариантов с ГСЗУ и ВСЗУ, которые удовлетворяют всем требованиям к освещённости и равномерности освещённости. Так как и вариант с ГСЗУ, и вариант с ВСЗУ с успехом обеспечивают комфортные условия зрительной работы, то для дальнейшего обсуждения этих вариантов применительно к потребляемой в них энергии следовало определить, какому из решений (ГСЗУ или ВСЗУ) соответствует меньшее значение *sLENI*. Сначала это было сделано применительно ко дню зимнего солнцестояния, а затем, для выяснения того, окажется ли решение, оптимальное для самого неблагоприятного времени года, удачным для других времён года, и для всего года в целом. В результате было получено, что то 21 декабря для помещения В оптимальными оказались варианты *S4-GT3* в случае ГСЗУ и *S7-GT3* в случае ВСЗУ; для помещения С – варианты *S4-GT1* в случае ГСЗУ и *S7-GT2* в случае ВСЗУ; для помещения D – варианты *S4-GT1* в случае ГСЗУ и *S7-GT3* в случае ВСЗУ; для помещения E – варианты *S4-GT3* в случае ГСЗУ и *S7-GT3* в случае ВСЗУ; для помещения F – варианты *S4-GT2* в случае ГСЗУ и *S7-GT3* в случае ВСЗУ. В целом, можно сделать вывод, что *sLENI* зависит от ориентации помещения. С другой стороны, обычная модернизация будет полезна для всех помещений на протяжении всего года. В частности, варианты с ГСЗУ оказались энергоэффективными решениями для юго-восточного и юго-западного фасадов с учётом всех рассматривавшихся в этом ис-



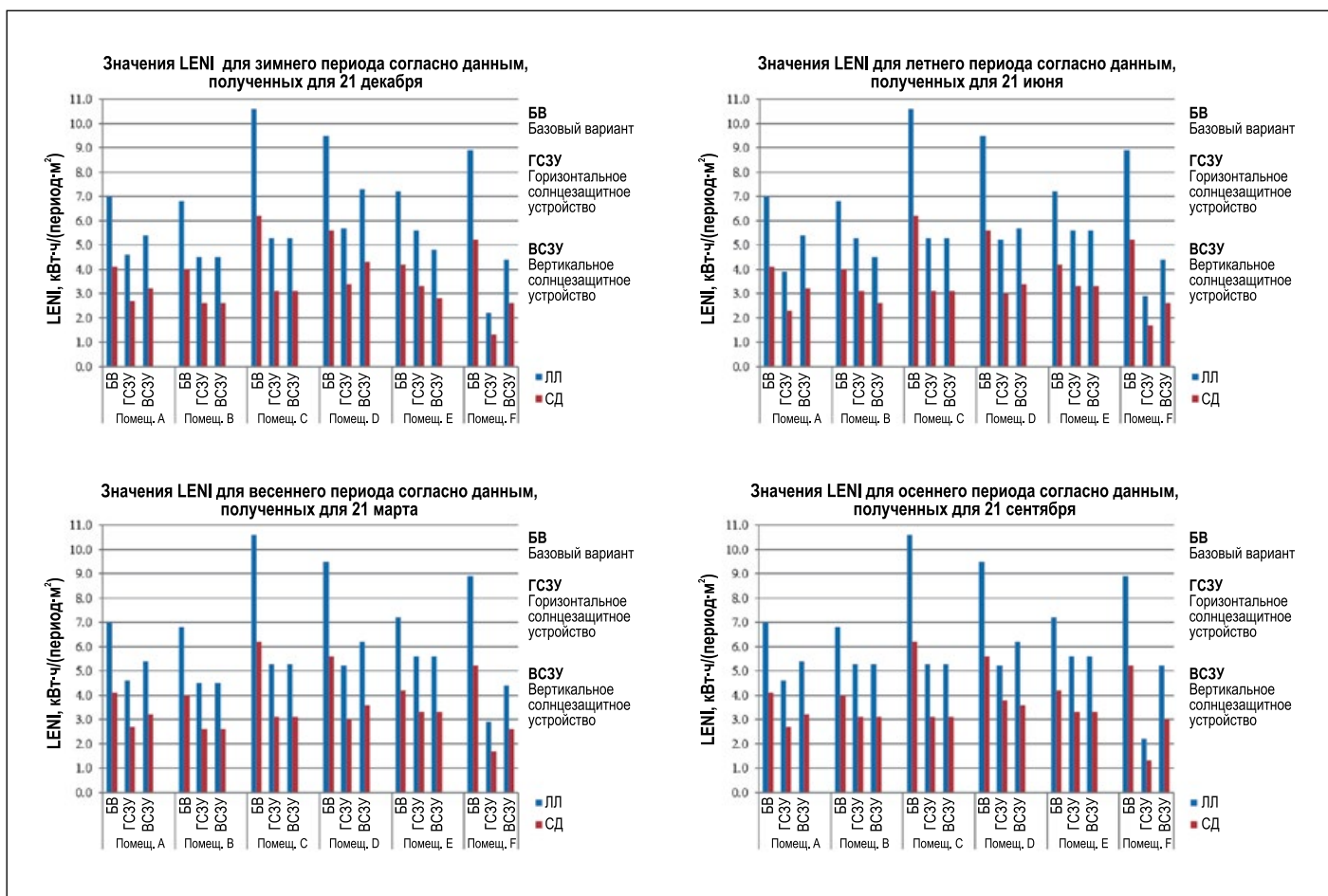


Рис. 7. Значения  $sLENI$  для всех рассмотренных помещений в дни солнцестояния и равноденствия

следовании характеристик помещений (глубина, ширина).

#### 4. Обсуждение и выводы

Ниже перечислены причины неудовлетворительности освещения рассматривавшихся помещений:

- Реальная конфигурация фасада никак не связана с его ориентацией и размерами. В то время как на северном фасаде имеются большие нависающие элементы, препятствующие попаданию рассеянного света, на южном фасаде никаких солнцезащитных устройств нет, что приводит к попаданию в помещения чрезмерно большого количества прямого солнечного света.
- Хотя отношение площади окна к площади стены и соответствует нормативным требованиям, помещение имеет слишком большую глубину. Это приводит к дефициту естественного освещения в больших помещениях.
- Тонированное остекление, которое препятствует попаданию солнечного света в помещение (коэффициент пропускания стёкол со-

ставлял почти 36%), препятствует и прохождению через стекло дневного света.

Для исправления вышеперечисленных недостатков, в данном исследовании предложены варианты солнцезащитных устройств и энергоэффективного освещения, в основу которых положены условия освещения в дни солнцестояния и равноденствия.

Освещённости, полученные в случаях оптимальных решений ( $S4-GT1$  и  $S7-GT3$ ), 21 декабря лежали в интервале 480–532 лк, и оставались в этом интервале на протяжении всего года, кроме нескольких имевших место в полдень исключений, когда были зарегистрированы более низкие значения освещённости. Причиной этих исключений могла быть высокая степень защиты, обеспечиваемая солнцезащитными устройствами при больших углах наклона пластин. Равномерность освещённости изменялась на протяжении года в пределах от 0,46 до 0,89. Установка светильников с СД привела к увеличению равномерности освещённости (0,63–0,92),

но не к существенному изменению уровня освещённости.

Оценка потребления энергии в рассматриваемые периоды производилась на основе  $sLENI$ . Использование в освещаемом светильниками с ЛЛ помещении  $E$  оказалось 21 декабря более энергоэффективным (4,8 кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>)), чем использование в этом же помещении ГСЗУ (5,5 кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>)). В дни летнего солнцестояния и равноденствия значение  $sLENI$  не зависело от того, какое – вертикальное или горизонтальное – солнцезащитное устройство было установлено в помещении (5,5 кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>)). Однако хотя и помещение  $E$ , и помещение  $B$  выходили на юго-запад (то есть имели одинаковую ориентацию), в случае освещаемого светильниками с ЛЛ помещения  $B$  наблюдалась диаметрально противоположная картина. В этом случае 21 июня ВСЗУ оказалось более энергоэффективным, чем ГСЗУ (4,5 и 5,2 кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>) соответственно), тогда как в день зимнего солнцестояния ( $sLENI = 4,5$  кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>)) и в дни равноденствия ( $sLENI = 4,5$

и 5,2 кВт·ч/(период·м<sup>2</sup>)) значение  $sLENI$  не зависело от типа применяемого солнцезащитного устройства. Причина такого расхождения связана с высотой солнца и глубиной помещения. Зимой, когда солнце стоит низко над горизонтом, для помещений относительно малой глубины энергоэффективным становится использование ВСЗУ. Летом к наименьшему энергопотреблению приводит установка ВСЗУ и в относительно глубоких помещениях. Эти результаты совпадают с литературными данными. Для помещений *A*, *D* и *F*, выходящих на юго-восток и северо-восток, оптимальным решением оставалось использование ГСЗУ.

Лучшим для выходящих на юго-запад помещений *B* и *E* были ВСЗУ. В выходящем на северо-запад помещении *C* можно использовать как ГСЗУ, так и ВСЗУ, причём ни те, ни другие не влияют на потребление энергии в дни солнцестояния и равноденствия. Потребление энергии становится постоянным на протяжении всего года.

Суммы значений  $sLENI$ , полученных применительно к светильникам с ЛЛ (27–34,9 кВт·ч/(год·м<sup>2</sup>)), оказались в пределах, допустимых для энергоэффективного освещения [14]. Использувавшиеся в этом исследовании входные параметры соответствовали не всем рекомендациям в части уменьшения потребления электроэнергии при модернизации осветительных установок [15], однако они включали в себя многие другие параметры, связанные с установками искусственного освещения и использованием естественного освещения. В любом случае благодаря переходу на светильники с СД, выбору расположения светильников, изменению коэффициента пропускания остекления и использованию солнцезащитных устройств, потребление электроэнергии сократилось на 56–83%. Дополнительное уменьшение энергопотребления будет достигнуто после установки датчиков и светорегуляторов и при удельном учёте глубины помещения, высоты потолка и площади окон при проектировании осветительной установки.

Оптимальные варианты обеспечивают высокий уровень зрительного комфорта и низкое энергопотребление благодаря использованию больших углов наклона пластин

(60° или 75°). При этом в значительной степени перекрывается вид из окон. Не вызывает сомнения важность обеспечения зрительного комфорта и низкого энергопотребления без ущерба для зрительной связи с внешним миром. Для этого можно уменьшить ширину пластин и изменить их форму.

Угол наклона пластин лучше всего задавать при помощи автоматизированной системы, включающей в себя интеллектуальные датчики, осуществляющие регулирование в соответствии с уровнем естественной освещённости. Возможности воплощения разных вариантов модернизации будут положены в основу дальнейших исследований. Тем не менее, настоящее исследование позволило получить информацию о недостатках существующего базового варианта и об оптимальных решениях, позволяющих обеспечить энергоэффективное освещение. Методика и результаты этого предварительного исследования должны обеспечить базу для проектирования энергоэффективных осветительных установок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Theodosiou, T.G., Ordoumpozanis, K.T.* Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece// *Energy & Buildings*. – 2008. – Vol. 40. – P. 2207–2214.
2. *Bellia, L., Pedace, A., Barbato, G.* Lighting in educational environments: an example of complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants// *Building & Environment*. – 2013. – Vol. 68. – P. 50–65.
3. Chartered Institution of Building Services Engineers CIBSE. Code for lighting. London: CIBSE; 2002.
4. Licht UB. Lighting design, detail practice. Munich: Birkhauser, 2006.
5. *Krüger, E.L., Dorigo, A.L.* Daylighting analysis in a public school in Curitiba, Brazil// *Renewable Energy*. – 2008. – Vol. 33. – P. 1695–1702.
6. *Li, D. H., Tsang, E. K.* An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong// *Building & Environment*. – 2008. – Vol. 43. – P. 1446–1458.
7. *Konis, K.* Evaluating daylight effectiveness and occupant visual comfort in side-lit open plan office buildings in San Francisco, California// *Building & Environment*. – 2013. – Vol. 59. – P. 662–677.
8. *Nayyar, R.A.* Assessing the potential for energy and economic savings from lighting retrofits at Illick Hall. Master's Thesis,

New York, State of University of New York College of Environmental Science and Forestry. 2010.

9. *Krarti, M., Erickson, P.M., Hillman, T.C.* A Simplified method to estimate energy Savings of artificial lighting use from daylighting// *Building & Environment*. – 2005. – Vol. 40. – P. 747–754.

10. *Li, D.H., Cheung, K. L., Wong, S. L., Lam, T.L.* An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls// *Applied Energy*. – 2010. – Vol. 87. – P. 558–567.

11. DIALux version 4.9. User manual. Software standard for calculating lighting layouts, Lüdenscheid; 2011.

12. *Fontoynt, M.* Daylight performance of buildings. New York, USA: Earthscan, 2013.

13. International Energy Agency (IEA). Guidebook on energy efficient electric lighting for buildings, (Annex45), Aalto University School of Science and Technology, 2010.

14. PrEN15193–1, Energy performance of buildings; Energy requirements for lighting, 2007.

15. Dubois M.C., Blomsterberg, A. Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review// *Energy & Buildings*. – 2011. – Vol. 43. – P. 2572–2582.



**Гёзе Байрам (Göze Bayram),**

Ph D. (архитектура, 2015 г.). Руководитель архитектурных проектов компании TARKEM, работающей в области социального и экономического

обновления базара Камералты – исторического центра г. Измира. Область научных интересов: энергоэффективность зданий, архитектурное освещение и компьютерное моделирование



**Туйче Казанмаз (Tuiçe Kazanmaz),**

Ph D. Доцент архитектурного факультета Измирского технического института. Область научных интересов: архитек-

турное освещение, физика зданий и энергоэффективное проектирование

# Тенеобразование

И.А. МАЛОВ

НИУ «МЭИ», Москва  
e-mail: lordmalov@yandex.ru

## Аннотация

Исследованы особенности восприятия тени наблюдателями при разных расстояниях между источником света и отбрасывающим тень объектом. Определено оптимальное расположение источника света и отбрасывающего тень объекта относительно плоскости проекции тени.

**Ключевые слова:** тень, тенеобразование, *Shadow Art*, свет как экспонат, музейное освещение.

## Введение

Музеи всё чаще прибегают к игре света и тени, создавая особую художественную атмосферу экспозиции. В 2015 году преподаватели и студенты кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ» приняли участие в проекте «Копилка светлых идей» музея «Огни Москвы». Студенты оценили качество освещения экспозиций нескольких российских музеев, а также попытались представить свет в качестве музейного экспоната.

Ставилась задача — определить такое расположение светового прибора, чтобы тень, получаемая при освещении объёмного объекта с различных расстояний, казалась наблюдателю наиболее благоприятной для восприятия.

## Методы

В затемнённой аудитории НИУ «МЭИ» смоделирована экспериментальная установка (рис. 1) из светодиодного светильника с узким светораспределением (*LED-SD06*), штатива для источника света, двух фонов (тёмного и светлого), стола, мерной линейки, трёх объектов для создания тени (объёмный, плоский и растенный), яркомера *Konica Minolta LS-100* и люксметра *ATT-1508*.

Из подобия треугольников  $SA_1S_1$  и  $SB_1S_2$  (рис. 2) следует, что можно определить размер тени  $h_2$ , зная размер объекта и расстояния от источника света до объекта и плоскости проекции, по следующей формуле:

$$h_2 = h_3 + (h_1 - h_3) \times \frac{L_3}{L_2}$$

В ходе исследования на светлом или тёмном фоне устанавливались по очереди три объекта (объёмный объект, плоский объект, цветок в горшке). Перемещая объекты в сторону источника света по линейке с шагом 20 см, делались замеры высоты тени в каждом случае и фиксировались видимые изменения тени.

## Результаты

1. При освещении точечным источником света объёмного объекта на больших расстояниях проявляется волновая природа света (дифракция) (рис. 3).

2. Расчётная формула для высоты тени позволяет рассчитать геометрию тени при проектировании, зная размер объекта и расположение осветительного оборудования, и наоборот, зная необходимые нам размеры тени и объекта, рассчитать расположение источника света. Погрешность определения высоты при расчёте по формуле и при экспериментальном наблюдении составляет 3–5%.

3. Полутень при освещении объёмного объекта наступает раньше, чем при освещении плоского. Так же появление полутени начинается раньше у объектов с меньшим размером.

4. Тень от растения сочетает в себе особенности тени от плоского, и объёмного объектов за счёт сложной структуры растения.

5. Большинству наблюдателей приятна для восприятия чёткая контрастная тень, передающая силуэт без искажений.

6. Некоторые наблюдатели испытывали дискомфорт, оценивая тень с заметной зоной полутени, превышающей ширину 0,3 см.

7. Замечен интересный факт — тень, образованная от объекта, освещённого вскользь (рис. 4), более привлекательна для наблюдателя с расстояния от 0 до 120 см.

Образование тени объектом, освещённым вскользь нерационально, так как неэффективно используется световой поток осветительного прибора. Исключением является случай, когда нужно высветить объект на большой плоскости. Тогда с помощью осевой силы света светильника высвечивается сам объект, а скользящим светом создаётся тень от другого объекта на той же плоскости фона. Данный способ можно применять в музеях, когда нужно

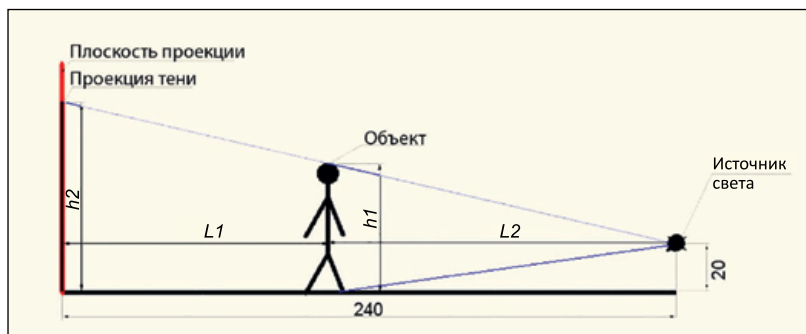


Рис. 1. Геометрия установки

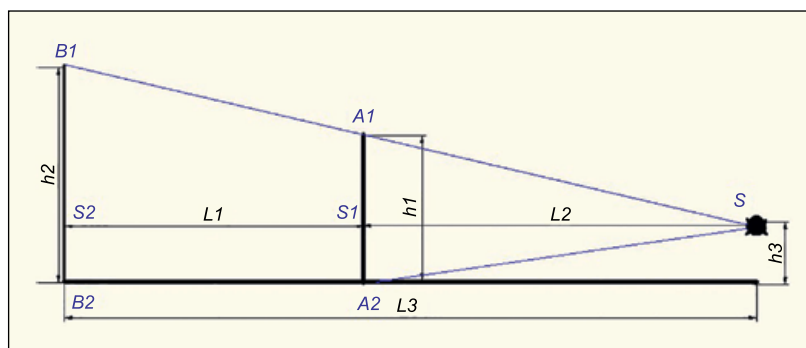


Рис. 2. Расчёт геометрии тени





Рис. 3. Дифракция света

высветить произведение искусства и рядом, с помощью тени, создать выразительный антураж, или в архитектурном освещении, когда нужно высветить небольшой рельеф на стене и одновременно создать тень.

### Обсуждение

За рубежом данная техника получила своё распространение под названием «Shadow Art» (рис. 5), что дословно обозначает – искусство тени. Подбирая расположение светового прибора художники создают иллюзию нереальности наблюдаемого.

Направление «Shadow Art» бюджетно: нужен только объект, фон и световой прибор. Предлагается использовать данную технику в качестве декорирующей в фасадном освещении, украшая лишённый выразительных элементов фасад здания или забор тенью от выразительного объекта (рис. 6, 7).



**Малов Илья Александрович,**  
инженер. Окончил в 1995 году кафедру светотехники Московского энергетического института. Инженер-проектировщик кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»

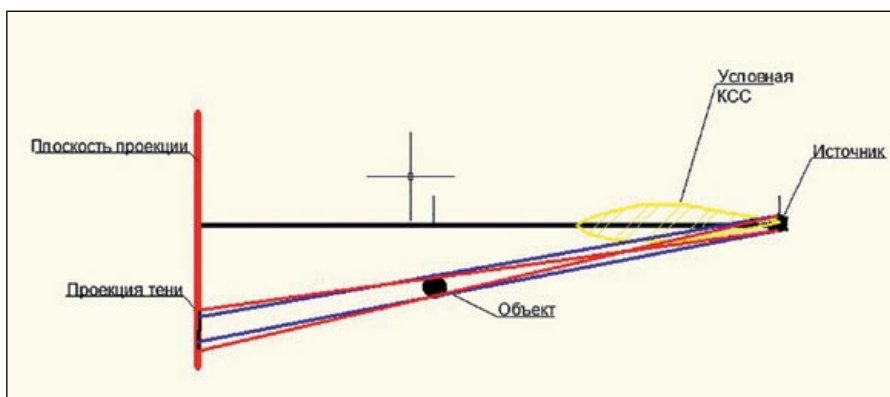


Рис. 4. Освещение вскользь



Рис. 5. Пример музейной экспозиции, основанной на построении тени



Рис. 6. Пример использования «Shadow Art» на фасаде здания



Рис. 7. Пример использования «Shadow Art» в ландшафтном освещении

# Источники света на основе СВЧ-разряда малой мощности

А. Н. ДИДЕНКО, А. В. ПРОКОПЕНКО

НИЯУ «МИФИ», Москва  
E-mail: pav14@mail.ru

## Аннотация

В работе освещено развитие безэлектродных источников света на основе СВЧ-разряда с малой мощностью питания. Рассмотрены существующие источники света с СВЧ-мощностью менее 300 Вт. Выполнен анализ электродинамических характеристик рабочих камер таких источников света на основе диэлектрических резонаторов. Рассмотрена возможность использования цилиндрического диэлектрического резонатора с колебаниями  $E_{011}$  в качестве рабочей камеры источника света на основе СВЧ-разряда с малой мощностью питания.

**Ключевые слова:** источник света, световая отдача, разряд, сера, СВЧ, резонатор, штыревая система, диэлектрик, напряжённость электрического поля, добротность, мощность.

Создание новых источников света (ИС) всегда актуально. Каждое новое физическое явление, сопровождающееся видимым излучением, тщательно исследовалось на предмет разработки высокоэффективных ИС. В последнее десятилетие огромное внимание уделяется разработке ИС на светодиодах (СД). При этом утверждается, что таким образом можно создавать ИС со световой отдачей, всегда большей, чем у других ИС [1]. На наш взгляд, это — преувеличение, мешающее развитию других направлений светотехники. Реально на СД можно строить высокоэффективные ИС с большим сроком службы, но трудно — мощные ИС со световым потоком за 30000 лм. Кроме того, возникают сложности при создании мощных точечных ИС на СД с высоким качеством цветопередачи. Нам представляется, эти недостатки будут отсутствовать в ИС на основе СВЧ-разряда в парах серы. Такими ИС долгое время занимались в НИЯУ «МИФИ» и РАН [2]. К сожалению, при снижении СВЧ-мощности ниже 300 Вт

энергоэффективность таких ИС чрезмерно падает. В настоящей статье показано, как можно устранить этот недостаток.

Итак, в последние два десятилетия большой интерес вызывают ИС на основе СВЧ-разряда в разных средах. Первые эксперименты, проведённые фирмой *Fusion Lighting* (США), показали их высокую световую отдачу — выше 80 лм/Вт [3]. В ИС на основе безэлектродного СВЧ-разряда используется видимое излучение молекулярной серы. На базе серы созданы коммерческие ИС с СВЧ-мощностью питания от 0,4–1,2 кВт и рабочей частотой 2,45 ГГц. Однако их широкому распространению препятствовала трудность равномерного распределения большого светового потока (более 100000 лм). В разработку новых типов коммерческих ИС на основе СВЧ-разряда активно включилась фирма *LG Electronics* (Республика Корея), *Ceravision Lighting LTD* (Великобритания) и *Luxim Corporation* (США). С конца 2000-х гг. работы по созданию ИС на основе СВЧ-разряда проводятся и в России — в НИЯУ «МИФИ», ВЭИ им. В. И. Ленина и НИИИС им. А. Н. Лодыгина [3].

Принцип работы таких ИС состоит в создании СВЧ-разряда в кварцевой колбе, наполненной порошком полиморфной серы и буферным газом аргоном. При высоких значениях напряжённости электрического поля в аргоне возникает тлеющий разряд, который совместно с полем нагревает до испарения серу, молекулы которой активно начинают излучать в видимом диапазоне. (Широкий спектр излучения серного ИС — результат полиморфизма серы.) При этом давление аргона — порядка 1 мм рт. ст., что соответствует минимуму кривой Пашена для аргона на частотах 2–3 ГГц.

В настоящее время актуальна задача разработка ИС с малой мощностью СВЧ-питания с тем же световым потоком, что и у ИС с большей мощностью питания. Исследования показы-

вают, что для эффективного поджига и горения разряда в резонаторе необходимо возбуждать поле с напряжённостью электрической компоненты порядка 5 кВ/см [2]. Сохранять световой поток ИС с уменьшением СВЧ-мощности ниже 300 Вт (повышая световую отдачу ИС) можно, например, двумя следующими путями:

- С уменьшением мощности питания электрическая напряжённость порядка 5 В/см достижима лишь в резонаторах малого объёма [4]. (Выбор типа резонатора и вида колебаний в этом случае должны основываться на анализе электродинамических характеристик.) При этом повышать световую отдачу с уменьшением СВЧ-мощности можно, используя в качестве рабочего наполнения колбы ИС галогениды разных элементов.

- В работах [4, 5] предлагается для рабочих камер ИС использовать цилиндрические резонаторы с колебаниями  $E_{010}$ . Для повышения напряжённости электрического поля в месте размещения разрядной колбы в работе [5] применялась штыревая система, состоящая из двух одинаковых прямоугольных штырей, установленных широкими стенками параллельно друг другу и прикреплённых симметрично относительно центральной оси резонатора к его нижнему основанию (рис. 1). Введение штырей позволяет повышать напряжённость электрического поля и тем самым снижать мощность питания. Параметр напряжённости электрического поля  $E/(P \times Q)^{1/2}$  для расчётного цилиндрического резонатора со штыревой системой составляет порядка 440 Ом<sup>1/2</sup>/м, где  $E$  — напряжённость электрического поля,  $P$  — мощность СВЧ-питания,  $Q$  — собственная доб-

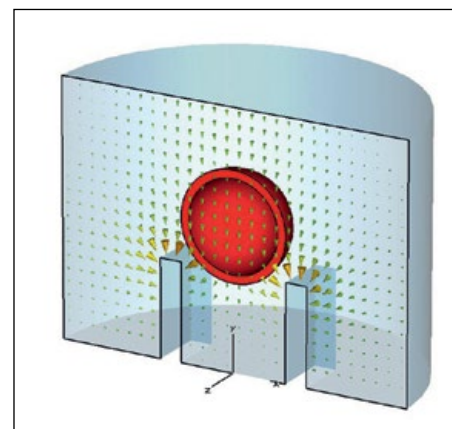
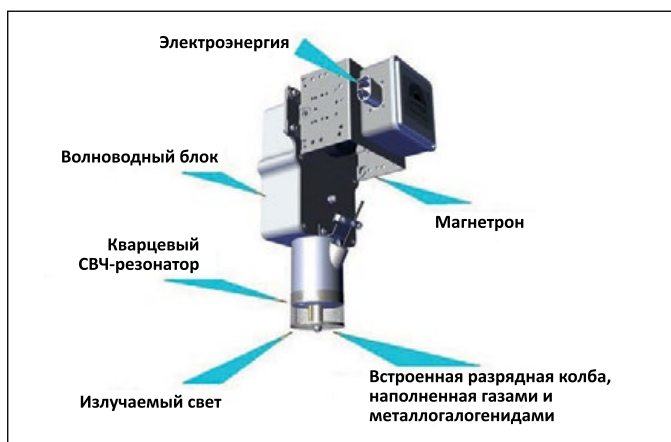


Рис. 1. Цилиндрический резонатор с системой прямоугольных штырей

Рис. 2. Источник света, выполненный по технологии «DayNow»



ротность резонатора. Таким образом, при мощности СВЧ-питания 220 Вт, подаваемой в резонатор, и добротности резонатора 1000 напряжённость электрического поля в нём составляет порядка 5 кВ/см.

Экспериментальное исследование данного варианта ИС показало, что при мощности СВЧ-питания 220 Вт световой поток составил 30000 лм, что соответствует световой отдаче до 80 лм/Вт при входной («от розетки») мощности питания порядка 400 Вт и коэффициенте преобразования электрической энергии в СВЧ-энергию 55%. В работе [5] с целью повышения эффективности рассмотрен вариант замены, в имеющемся резонаторе, двух прямоугольных штырей на один в виде кольца, расположенного симметрично на торцевой стенке резонатора. При этом электрическое поле сосредоточено между кольцевой вставкой и торцевой стенкой, направлено вдоль центральной оси резонатора и достигает максимума на краю кольцевой вставки. Параметр напряжённости электрического поля для данной системы составляет порядка  $500 \text{ Ом}^{1/2}/\text{м}$ , и световая отдача («от розетки») такого ИС повышается до 85 лм/Вт.

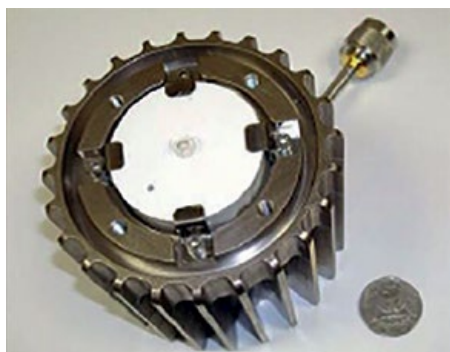


Рис. 3. Источник света «LIFI»

В работе [6] показано, что в качестве рабочих камер ИС на основе СВЧ-разряда можно использовать объёмные резонаторы с диэлектрическим заполнением. Применение их позволит уменьшить размеры ИС и повысить напряжённость электрического поля в месте размещения колбы. Диэлектрические резонаторы, используемые в ИС с СВЧ-мощностью питания менее 300 Вт, разрабатываются фирмами *Ceravision Lighting LTD* и *Luxim Corporation*.

Так, *Ceravision Lighting LTD* представила ИС под названием «*Ecolumination*», где вместо серы используются металлогалогениды, а колба имеет форму цилиндра и расположена по центру металлизированного диэлектрического керамического резонатора прямоугольной формы (вид колебаний  $H_{101}$ ). В качестве источника СВЧ-энергии используется генератор на СВЧ-транзисторах (на арсениде галлия) мощностью до 300 Вт. Минимальная достигнутая мощность СВЧ-питания при сохранении высокого светового потока ИС – 50 Вт [2]. На сегодня этой фирмой представлен новый ИС по технологии «*DayNow*», выполненный на основе кварцевого резонатора с ин-

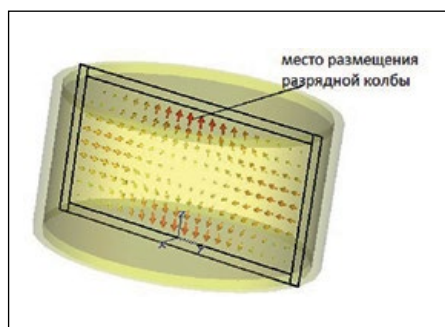


Рис. 4. Цилиндрический резонатор с колебанием вида  $E_{011}^0$

тегрированной в нём разрядной колбой [7] (рис. 2). ИС работает от магнетрона на частоте 2,45 ГГц и имеет мощность 400 Вт. В качестве рабочего вещества используются металлогалогениды, и при этом возможно динамическое изменение светового потока.

А в рабочем наполнении колбы ИС малой мощности фирмы *Luxim Corporation* используются йодиды и бромиды натрия, индия, таллия, скандия, лития и редкоземельные металлы тулий и диспрозий [2, 8]. Рабочей камерой в этом ИС служит металлизированный тороидальный диэлектрический резонатор. Разработанная лампа под маркой «*LIFI*» состоит из колбы, твердотельного усилителя мощности, резонатора и устройства ввода мощности. Разрядная колба расположена в ёмкостном зазоре тороидального резонатора. Последний может иметь прямоугольную или цилиндрическую форму, и его корпус заключён в алюминиевый радиатор охлаждения (рис. 3). СВЧ-мощность питания опытных образцов варьируется от 180 до 400 Вт при общем индексе цветопередачи выше 80. В качестве СВЧ-генератора используется твердотельный усилитель, введённый в режим автогенерации благодаря наличию обратной связи. Помимо освещения, такие ИС разрабатываются и для эндоскопии, микроскопии и проекционных устройств.

В работе [6] приведён расчёт цилиндрического резонатора с диэлектрическим заполнением и видом колебаний  $E_{010}$ . В качестве материала рассматривались фторопластовое ( $\epsilon=2,2$  и  $tg\delta=2 \times 10^{-4}$ ) и керамическое ( $\epsilon=8,5$  и  $tg\delta=10^{-4}$ ) заполнения. Расчёты показывают преимущество использования керамического заполнения за счёт большого значения диэлектрической проницаемости. При частоте 2,45 ГГц керамический резонатор имеет диаметр 48,2 мм и осевое отверстие для колбы диаметром 9 мм. При высоте цилиндра 24 мм значение параметра напряжённости электрического поля достигает  $560 \text{ Ом}^{1/2}/\text{м}$ , что выше, чем у резонаторов со штырями. Таким образом, мощность питания ИС может быть снижена. Полученные результаты требуют дальнейших экспериментальных измерений, но уже сейчас можно говорить о наличии путей дальнейшего снижения мощности СВЧ-питания ИС. Например, с использованием ди-



электрических резонаторов со штыревой структурой.

Одна из проблем использования диэлектрических резонаторов – необходимость обеспечения эффективного вывода света из резонатора, который может обладать разной степенью прозрачности. Материал этих резонаторов, помимо малых диэлектрических потерь, должен обладать и значительной термостойкостью – до 800 °С. Из-за отсутствия светопрозрачного материала с такими свойствами для изготовления диэлектрических резонаторов применяются керамики с поверхностной металлизацией. В существующих ИС разрядные колбы располагаются на поверхности резонатора. Следовательно, необходим выбор вида колебаний с максимумом электрической составляющей поля вблизи поверхности резонатора.

Наиболее подходящим видом колебаний для этих целей является диэлектрический резонатор цилиндрической формы с колебаниями вида  $E_{011}$  [9]. В данном резонаторе – два максимума напряжённости электрического поля, расположенные на оси вблизи торцевых стенок (рис. 4). В одном из максимумов предполагается размещать цилиндрическую разрядную колбу, а в другом может коаксиально размещаться штыревой ввод мощности СВЧ-питания.

С использованием пакета прикладных программ «CST Studio Suite 2014» проведён расчёт энергетических характеристик диэлектрического цилиндрического  $E_{011}^0$ -резонатора с фторопластовым ( $\epsilon=2,2$ ), кварцевым ( $\epsilon=4,2$ ) и керамическим ( $\epsilon=8,0$  и  $10,0$ ) заполнениями. На рис. 5 представлены зависимости геометрических размеров резонатора при частоте 2,45 ГГц. Расчётные резонаторы имеют разную зависимость высоты от радиуса и строго ограниченные интервалы значений этих параметров. Для резонатора из алюмооксидной керамики ( $\epsilon=8$ ,  $tg\delta=10^{-4}$ ) максимальный параметр напряжённости электрического поля на оси у торцевой стенки – 270 Ом<sup>1/2</sup>/м.

Изготовленная модель фторопластового диэлектрического резонатора с колебаниями вида  $E_{011}^0$  показала совпадение расчётных и измеренных значений резонансной частоты и собственной добротности, равной 2300. Таким образом, необходимая напряжённость электрического поля для

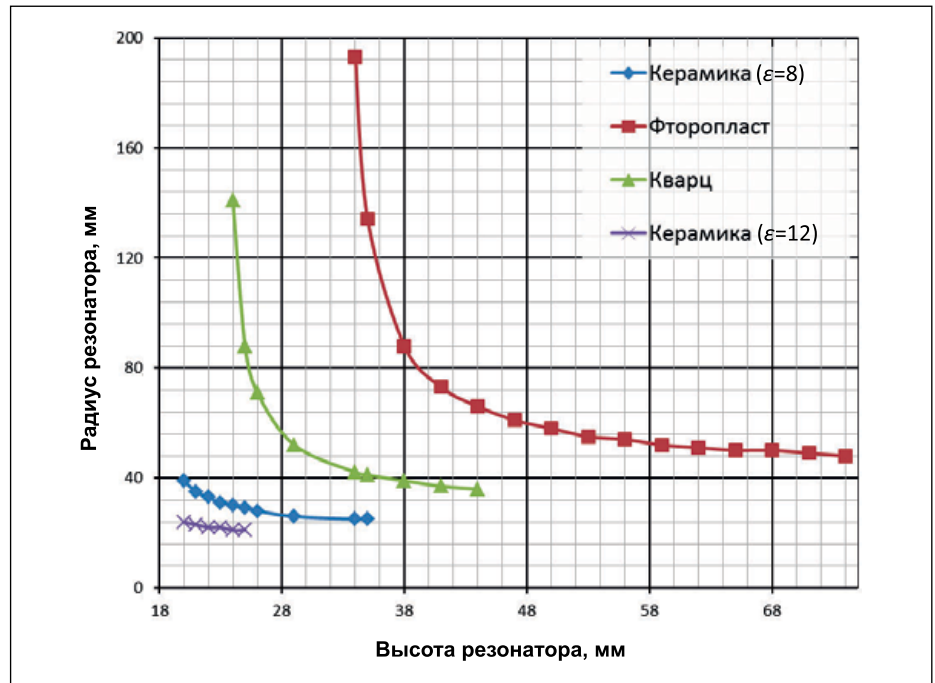


Рис. 5. Размеры диэлектрического цилиндрического резонатора

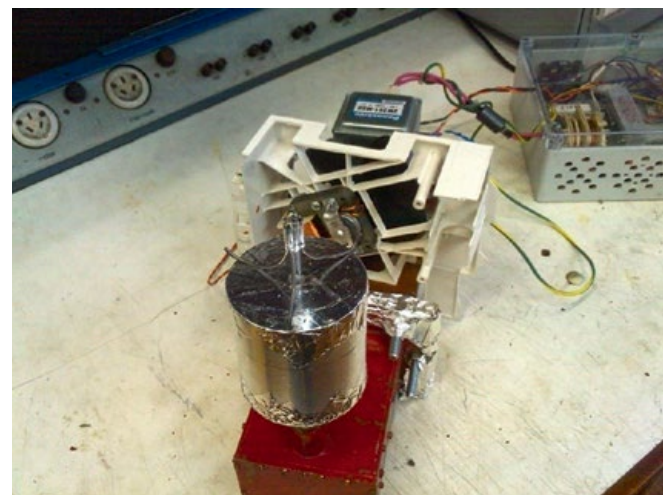


Рис. 6. Экспериментальный образец источника света с малой СВЧ-мощностью питания

поджига и эффективного горения разряда в серной лампе может гарантироваться уже при мощности СВЧ-питания в 150 Вт.

Выполнены также экспериментальные исследования по работе резонаторной рабочей камеры при малом уровне мощности. В качестве источника СВЧ-питания использовался магнетронный генератор с инверторным выпрямителем, который позволял снижать СВЧ-мощность до 150 Вт (рис. 6). В этой рабочей камере уверенно поджигался и разгорался разряд в цилиндрической колбе, однако низкая температурная стойкость фторопласта не позволяла поддерживать горение разряда больше минуты, что недостаточно для исследования световых характеристик ИС.

При дальнейших работах по созданию опытно-промышленного образца ИС такого рода планируется изготовление резонаторной рабочей камеры из керамики.

Таким образом, для создания эффективных безэлектродных ИС с малой мощностью питания на основе СВЧ-разряда в парах серы могут использоваться штыревые и диэлектрические резонаторы.

Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ «МИФИ».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закгейм А.Л. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность

для здоровья // Светотехника. – 2012. – № 6. – С. 12–21.

2. Диденко А. Н., Зверев Б. В., Прокопенко А. В. Высокоэффективные источники света на основе использования СВЧ-разряда в аргон-серных смесях / Энциклопедическая серия «Энциклопедия низкотемпературной плазмы». Сер. Б. Под ред. Ю. А. Лебедева, Н. А. Платэ, В. Е. Фортова. – Т. XI-5. – М: Янус-К, 2006. – С. 345–363.

3. Александрова О. Ю., Бондаренко С. М., Гутцайт Э. М., Жидков Р. А. Современное состояние, перспективы развития и применения осветительных устройств на основе СВЧ разряда // Светотехника. – 2013. – № 2. – С. 37–40.

4. Щукин А. Ю., Денисов К. В. Выбор резонатора для эффективной СВЧ-лампы малой мощности // Известия РАН. Энергетика. – 2008. – № 2. – С. 9–16.

5. Didenko A. N., Prokopenko A. V., Shchukin A. Yu. High-efficiency sulfuric lamp of low power // Light & Engineering. – 2010. – Vol. 18, No. 2. – P. 21–24.

6. Didenko A. N., Shchukin A. Yu. Microwave sources of solar light // Journal of communications technology and electronics. – 2010. – Vol. 55, No. 4. – P. 359–374.

7. URL: <http://www.ceravision.com/day-now-technology/>.

8. URL: <http://www.luxim.com/>.

9. Didenko A. N., Prokopenko A. V., Smirnov K. D. Microwave resonator chambers for light source of low power // Proceedings of 2014 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering; Yuri Gagarin State Technical University of Saratov/ 25–26.09.2014, Saratov, Russia. – Vol. 1. – P. 249–253.



**Диденко Андрей Николаевич,**

доктор физ.-мат. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Электрофизические установки» НИЯУ «МИФИ». Член-корреспондент РАН



**Прокопенко Александр Валерьевич,**

кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1998 г. МИФИ. Доцент кафедры «Электрофизические установки» НИЯУ «МИФИ»

## Защита диссертации

23 июня 2016 г. в Московском энергетическом институте (ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ) защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.07 – «Светотехника» – Гурин Сергей Юрьевич. Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Тема диссертации – «Принципы повышения энергоэффективности полупроводниковых световых приборов». Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры лазерной и световой техники ФГАОУ ВО «НИ ТПУ» Гриценко Борис Петрович. Официальные оппоненты – Овчаров Александр Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Архитектурное проектирование» Томского государственного архитектурно-строительного университета, г. Томск (ФГБОУ ВПО «ТГАСУ»); Смирнов Серафим Всеволодович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физической электроники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск (ФГБОУ ВО «ТУСУР»). Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск.

Диссертационная работа посвящена исследованиям светодиодов и световых приборов на их основе и решению конструкторских и технологических проблем разработки светодиодных светильников высокой эффективности и надёжности на основе оптимизации их теплового режима. В работе применена методика измерений характеристик светодиодов при импульсном токе, позволившая разделить и исследовать влияние температуры и силы

тока на характеристики светодиодов и выбрать оптимальный режим работы светодиодов в светильнике. Экспериментальные исследования по этой методике позволили установить для светодиодов фирмы Cree граничные значения рабочих температур  $p-n$ -переходов (не более 100 °С) и диапазон оптимальных значений силы тока (от 350 до 700 мА). Оптимизированные значения параметров заложены в основу конструирования светильника высокой эффективности со световой отдачей 115 лм/Вт.

Научную новизну работы составляют её следующие результаты:

- Эмпирическая методика расчёта теплового режима светодиода ( $p-n$ -перехода) в корпусе светильника, основанная на определении температурных полей светового прибора, позволяющая строить эффективную систему теплоотвода и оптимизировать тепловой режим работы светового прибора.

- Оптико-электронный комплекс для экспериментальных исследований работоспособности светодиодов в широком диапазоне режимов эксплуатации и в реальных условиях работы в световом приборе.

- Светильник модульного типа для наружного освещения, реализующий теоретические и практические рекомендации исследований и обладающий технико-экономическими характеристиками, превосходящими современный уровень светодиодных светильников аналогичной категории.

В результате исследований разработаны и апробированы базовые критерии оптимизации конструкции светильника, которые составили методологические принципы научного и инженерного подхода к конструированию светильника высокой энергетической эффективности. Типоряд светодиодных светильников под маркой «Sunrays», реализующих идеологию диссертационной работы, освоен в производстве.

# Независимая от мощности модель КЛЛ с выносным электромагнитным ПРА, основанная на динамической проводимости\*

Б.Г. БАКШИ<sup>1</sup>, А. ДУТТА<sup>2</sup>, Б. РОЙ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Калькуттский производственно-управленческий институт, Колката, Индия

<sup>2</sup> Компания *AWA Lighting Designers*, Нью-Дели, Индия

<sup>3</sup> Электротехнический факультет Джадавпурского университета, Колката, Индия

E-mail: broy@ee.jdvu.ac.in

## Аннотация

В статье представлена независимая от мощности математическая модель компактных люминесцентных ламп (КЛЛ), работающих с внешним электромагнитным пускорегулирующим аппаратом (ЭмПРА) на частоте 50 Гц. Эта модель, сформированная в «*Matlab-Simulink*», воспроизводит изменение электрических характеристик системы КЛЛ-ЭмПРА во времени и представляет собой модифицированный вариант существующей модели динамической электрической проводимости, в которой скорость изменения носителей заряда внутри разрядной трубки определяется на основе рассмотрения физических процессов, таких как ионизация, рекомбинация и диффузия на стенке. В качестве входного параметра модели выступает напряжение сети. В исходной, привязанной к конкретной мощности лампы, модели для описания этих физических процессов используются четыре коэффициента (*A*, *B*, *C* и *D*). При этом в модели не учитываются электрические параметры ЭмПРА, который заменён на источник синусоидального тока. В предлагаемой независимой от мощности модифицированной модели, применимой к лампам мощностью 7–18 Вт, учитывается влияние ЭмПРА. Полученные с помощью этой модели результаты сравниваются с результатами испытаний лампы мощностью 9 Вт, проведённых в широком диапазоне изменения напряжения сети (200–260 В). Результаты расчётов демонстрируют хорошее совпадение с характеристиками реальной системы лампа-ПРА, так что разработанную модель можно использовать при конструировании ПРА.

**Ключевые слова:** независимая от мощности модель, электромагнитный пускорегулирующий аппарат, КЛЛ не для прямой замены ламп накаливания, динамическая электрическая проводимость.

## 1. Введение

Линейные люминесцентные лампы (ЛЛ) и КЛЛ, относящиеся к ртутным лампам НД, широко используются в качестве источников света для внутреннего искусственного освещения из-за хорошей световой отдачи и приемлемой цветопередачи. Благодаря низкой стоимости, хорошим эксплуатационным характеристикам и большой продолжительности горения эти лампы остаются самыми популярными в развивающихся странах, таких как Индия, источниками света даже после появления доступных светодиодов [1]. В идущем в этих разрядных лампах процессе генерации света задействованы сложные физические процессы. Математическое моделирование подобных ламп предоставляет многочисленные возможности, в том числе в моделировании электрических характеристик, исследовании сложных вольт-амперных характеристик, конструировании ПРА и исследовании качества электрической энергии [2, 3].

Один из наиболее широко используемых методов моделирования основан на уравнениях теплового баланса лампы [4–9]. При этом подходе изменение температуры дуги описывается, исходя из мощности, потребляемой лампой, и потерь энергии из-за теплового излучения и теплопроводности. Модель теплового баланса обычно реализуется в «*PSPice*» и включает в себя катодное падение напряжения и стадию разогрева [6, 7]. Недавно эта модель была модифицирована с целью получения теоретико-

экспериментальной модели, которая включала бы в себя процесс светорегулирования и влияние температуры разрядной трубки [8, 9]. Правильность этой модели была подтверждена результатами испытаний различных ЛЛ и КЛЛ.

Более простая, чем модель на тепловом балансе, модель на основе электрической проводимости лампы была впервые предложена в докладе [10]. Эта модель «исходила» из уравнения баланса энергии Фрэнсиса [11] и меняющейся во времени проводимости столба дугового разряда. Чем больше концентрация носителей заряда внутри разрядной трубки, тем больше проводимость и тем меньше сопротивление дуги. Первую модель динамической проводимости назвали «квадратичной моделью» (*quadratic model*), так как правая часть уравнения представляет собой квадратный трёхчлен [12]. Эта квадратичная модель была преобразована в полиномиальную, позволяющую лучше моделировать разрядные лампы ВД [13]. И в квадратичной, и в полиномиальной моделях рекомбинационные потери внутри разрядной трубки меняются как квадрат проводимости. Впоследствии авторы решили [13], что более точной аппроксимацией рекомбинационных потерь была бы экспонента от проводимости [14]. Впоследствии была подтверждена применимость экспоненциальной модели к работе как на низкой, так и на высокой частоте [2].

Было предложено несколько основанных на уравнении баланса энергии Фрэнсиса физических моделей разрядной лампы, связывающих электрические характеристики лампы с её геометрией, температурой холодной точки и составом наполнения [15–17]. В них упор делался на микроуровневых характеристиках разряда, таких как подвижность ионов, скорость переноса и коэффициент ам-

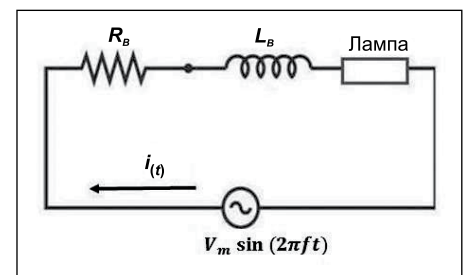


Рис. 1. Электрическая схема с лампой и электромагнитным ПРА

\* Перевод с англ. Е.И. Розовского



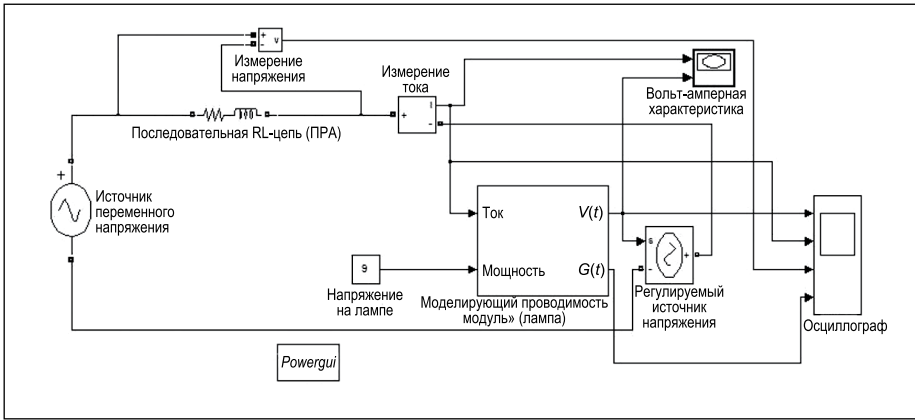


Рис. 2. Воплощение полной системы лампа–ПРА в «Simulink»

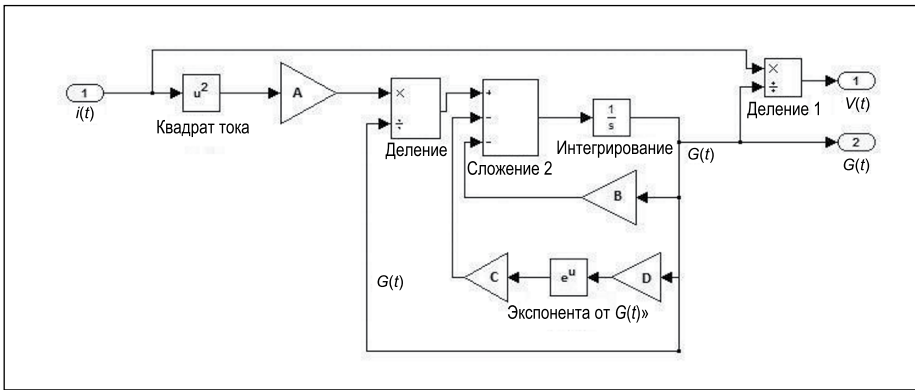


Рис. 3. Формирование подсистемы «Моделирующий проводимость модуль» (МПМ) на основе моделирующей лампы уравнения (1)

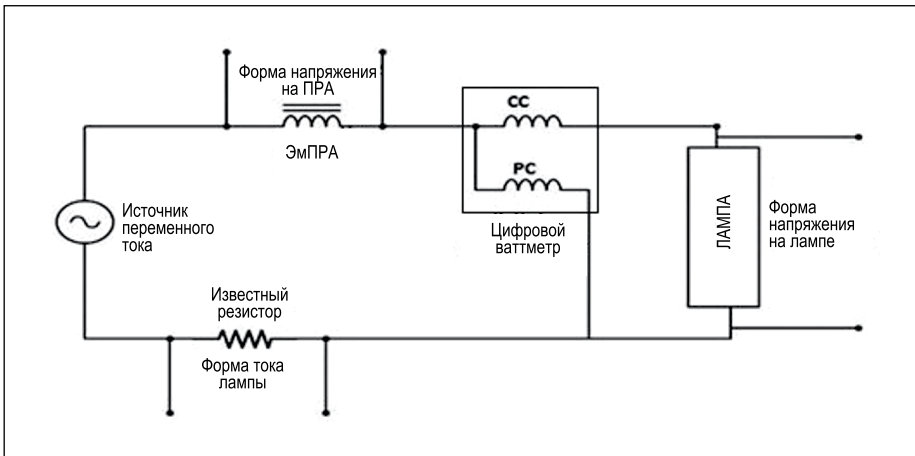


Рис. 4. Электрическая схема, использовавшаяся для определения коэффициентов и проверки модели

биполярной диффузии, что делало невозможным построение модели на основе выходных электрических характеристик разряда.

Реализация экспоненциальной модели проводимости [2] связана с тремя основными проблемами:

- в исходной модели физические характеристики ПРА были заменены на питание лампы от источника синусоидального тока. Однако на практике из-за сильной нелинейно-

сти лампы форма тока отличается от синусоидальной;

- входным параметром модели лампы было нормированное значение синусоидального тока, а не напряжения;

- существующие модели проводимости зависят от мощности, то есть полученные экспериментально коэффициенты модели описывают только конкретную лампу и не могут использоваться для ламп другой мощности.

Для создания предлагаемой независимой от мощности лампы модели была использована модифицированная модель динамической проводимости [2, 10–14]. От других методов моделирования тепловых и физических процессов отказались из-за их сложности и потребности в данных, которые очень трудно получать экспериментально, таких как температура и электронная температура дуги, давление газа, подвижность электронов [4–9, 15–17]. В отличие от этих методов, для создания модели динамической проводимости требуются только выходные характеристики лампы [18]. В разработанной независимой от мощности модели зависимые от мощности коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  заменены на задаваемые пользователем функции, полученные на основе результатов измерений пяти ламп (7–18 Вт). После программной реализации предложенная модель была проверена на КЛЛ компании *Osram* мощностью 9 Вт.

## 2. Существующая модель динамической проводимости разрядных ламп НД

Проводимость (или сопротивление) внутреннего объема горелки лампы прямо пропорциональна плотности носителей заряда (в основном, электронов) внутри горелки [10]. Горелка содержит газы (такие как аргон, криптон и т.д.) и пары металлов при определенном низком давлении. При приложении к электродам напряжения электроны устремляются от катода к аноду, сталкиваясь при этом с атомами инертного газа и металлов и ионизируя их [19]. Этот процесс ионизации приводит к увеличению проводимости лампы, так как чем больше количество носителей заряда, тем больше проводимость дуги. С другой стороны, часть электронов рекомбинирует с ионами с образованием нейтральных атомов. Эта рекомбинация приводит к уменьшению проводимости лампы [10, 13]. Кроме рекомбинации, часть электронов диффундирует на стенки лампы, не участвуя в разряде. В целом проводимость лампы представляет собой «динамическую» величину, зависящую от трёх основных факторов: ионизации, рекомбинации и потерь на стенках трубки [2].

С учётом трёх этих факторов основанная на динамической проводимости математическая модель [2, 14] имеет вид:

$$\frac{dG(t)}{dt} = A \cdot i(t) \cdot v(t) - B \cdot G(t) - C \cdot \exp[D \cdot G(t)], \quad (1)$$

где  $G(t)$  – динамическая проводимость лампы,  $i(t)$  – мгновенное значение тока лампы,  $v(t)$  – мгновенное значение напряжения на лампе,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  – коэффициенты модели лампы.

Дифференциальное уравнение первого порядка (1) – основное уравнение модели лампы, справедливое для разрядных ламп НД, то есть для ЛЛ и КЛЛ [2]. В предшествующих работах компьютерную реализацию уравнения (1) называли «моделирующим проводимостью модулем» (МПМ) [2, 14], в котором уравнение (1) решается относительно  $G(t)$  при токе  $i(t)$ , выступающем в качестве входного параметра. Затем ток  $i(t)$  делят на  $G(t)$ , получая в результате напряжение на лампе  $v(t)$ . Электрические характеристики лампы заданной мощности целиком зависят от коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Связь этих коэффициентов с протекающими в разряде физическими процессами обсуждается в следующем разделе.

### 3. Физические основы определения коэффициентов модели

В современной литературе создание модели динамической проводимости разрядов основано на уравнении баланса энергии Фрэнсиса [11]:

$$\frac{d\eta_e}{dt} = P_e + L_e, \quad (2)$$

где  $\eta_e$  – средняя плотность свободных электронов,  $P_e$  – скорость образования электронов,  $L_e$  – скорость потери электронов.

Скорость образования электронов прямо пропорциональна мгновенному значению подводимой электрической мощности [2]:

$$P_e = k_1 i(t) \cdot v(t). \quad (3)$$

Скорость потери электронов можно разделить на две составляющие:

$$L_e = L_W + L_R, \quad (4)$$

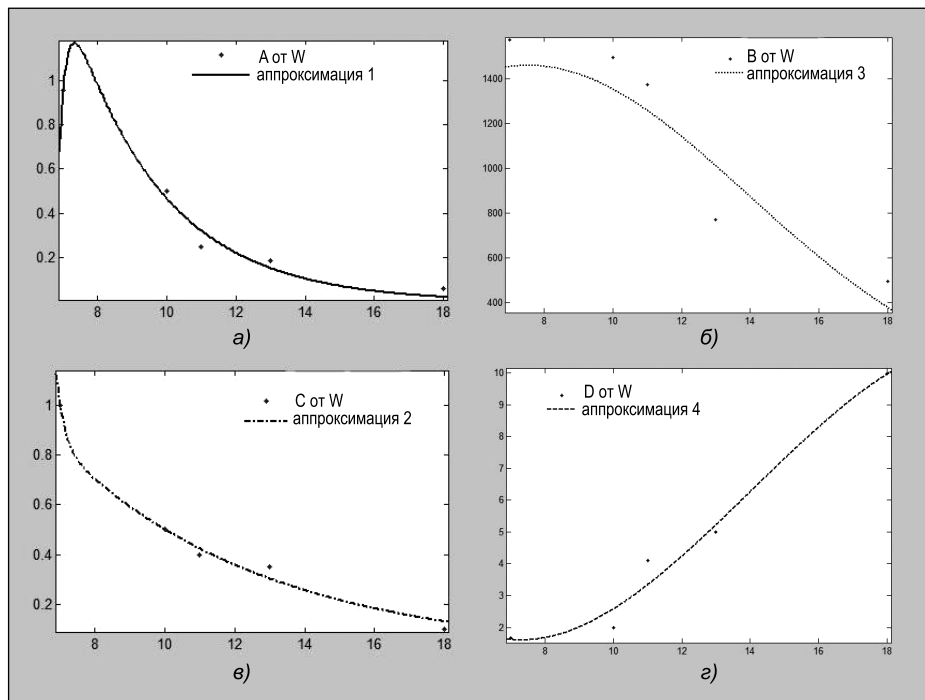


Рис. 5. Кривые, аппроксимирующие зависимости коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  от мощности лампы (рисунки а), б), в) и г) соответственно)

где  $L_W$  – скорость потери на стенках,  $L_R$  – скорость потери в результате рекомбинации.

Эти скорости можно выразить через среднюю плотность свободных электронов  $\eta_e$  как [2]

$$L_W = -k_2 \eta_e, \quad (5)$$

$$L_R = -k_3 \exp(k_4 \eta_e). \quad (6)$$

Знак «минус» в правых частях уравнений (5) и (6) означает уменьшение плотности электронов. Динамическую проводимость  $G(t)$  можно выразить как

$$G(t) = \frac{i(t)}{v(t)} = k_5 \eta_e. \quad (7)$$

Входящие в уравнения (3)–(7) параметры  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  и  $k_5$  представляют собой коэффициенты пропорциональности [2]. Подставив в уравнение (2) значения  $P_e$  и  $L_e$ , получаем:

$$\frac{d\eta_e}{dt} = k_1 i(t) v(t) - k_2 \eta_e - k_3 \exp(k_4 \eta_e). \quad (8)$$

Заменив  $\eta_e$  на  $G(t)$  и умножив обе части уравнения (8) на  $k_5$ , получаем результирующее уравнение

$$\frac{dG(t)}{dt} = k_1 k_5 i(t) v(t) - k_2 G(t) - k_3 k_5 \exp\left[\left(\frac{k_4}{k_5}\right) G(t)\right]. \quad (9)$$

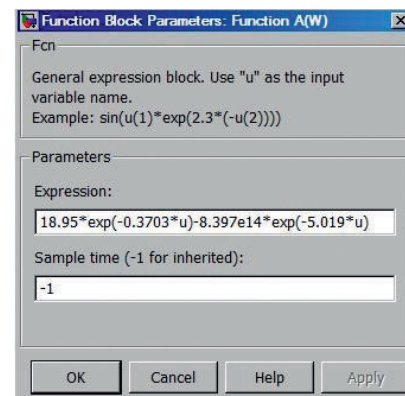


Рис. 6. Задание входного параметра функции  $A(W)$  при проверке корректности модели

Сравнив уравнения (1) и (9), получим:  $A = k_1 \cdot k_5$ ,  $B = k_2$ ,  $C = k_3 \cdot k_5$ ,  $D = k_4 / k_5$ .

Так что можно заключить: коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  адекватны протекающим в разряде процессам. Скорости образования электронов и их потери в результате диффузии на стенки связаны с коэффициентами  $A$  и  $B$  соответственно, а скорость рекомбинации связана с коэффициентами  $C$  и  $D$ .

### 4. Предлагаемая модель системы КЛЛ-электромагнитный ПРА

Разработка модели всей системы лампа-ЭмПРА проводилась при следующих допущениях:

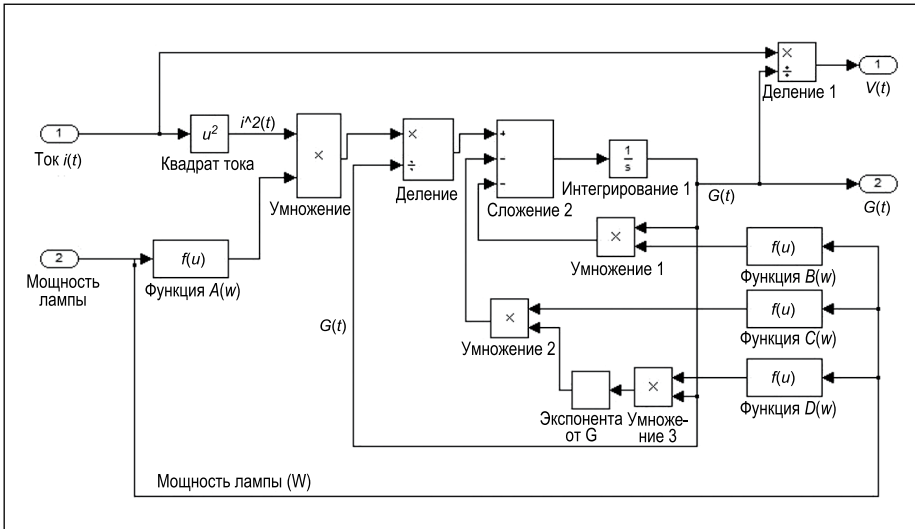


Рис. 7. Модифицированный МПМ (независимая от мощности модель лампы)

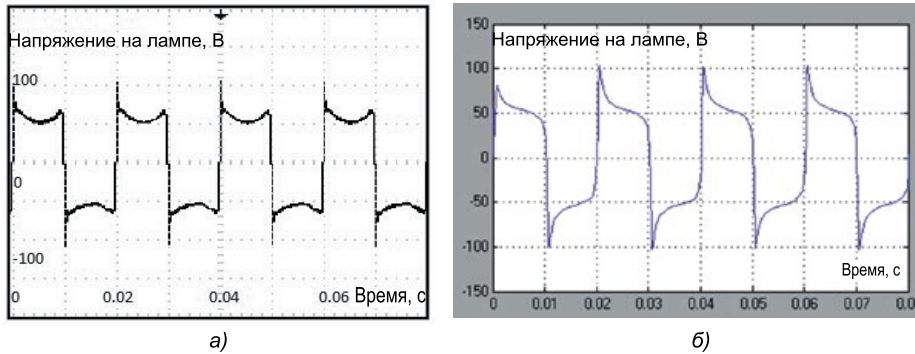


Рис. 8. Форма напряжения на КЛЛ мощностью 9 Вт при напряжении сети 240 В, 50 Гц: а – измеренная; б – расчётная

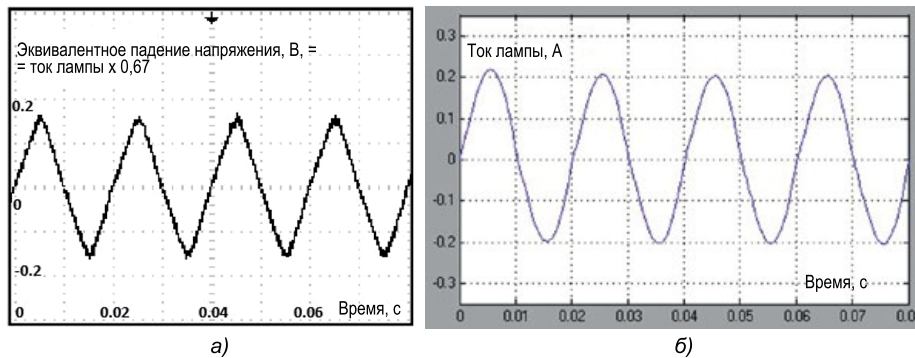


Рис. 9. Форма тока КЛЛ мощностью 9 Вт при напряжении сети 240 В, 50 Гц: а – измеренная; б – расчётная

– работа лампы описывается экспоненциальной моделью динамической проводимости (уравнение (1));  
 – лампа работает с ЭМПРА, представленном индуктивностью  $L_B$  и внутренним сопротивлением  $R_B$ ;

– напряжение питания имеет синусоидальную форму и частоту 50 Гц. Моделируемая система лампа-ЭМПРА, которая показана на рис. 1, фактически является последовательной цепью переменного тока [20, 21].

Воплощение системы лампа-ЭМПРА в «*Matlab-Simulink*» отражено на рис. 2. Блок измерения тока определяет ток системы, и полученный результат передаётся в подсистему (модуль), названную, см. выше, МПМ. Этот модуль, который, в сущности, моделирует саму горелку, показан на рис. 3. МПМ содержит четыре усилительных блока (*gain block*), соответствующих коэффициентам  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Выходной сигнал МПМ –

значение  $v(t)$ . Смоделированное  $v(t)$  объединяется с напряжениями на последовательно соединённых с лампой источнике переменного тока и ПРА в блоке «Регулируемый источник напряжения», заимствованном из библиотеки «*SimPowerSystems*». Для выполнения расчётов эта библиотека запрашивает дополнительный блок «*Powergui*» [22]. Для получения форм сигналов используется блок «Осциллограф», а вольт-амперную характеристику лампы  $v(t)-i(t)$  получают с помощью двукоординатного графопостроителя.

### 5. Разработка и реализация независимой от мощности модели системы лампа-электромагнитный ПРА

При разработке независимой от мощности модели системы лампа-ПРА в первую очередь рассчитывались коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  для пяти КЛЛ разной мощности (7–18 Вт), не предназначенных для прямой замены ламп накаливания. При этом:

– дифференциальное уравнение первого порядка преобразовывалось по методу Эйлера [2] в дифференциально-алгебраическое уравнение

$$\frac{G(t_n) - G(t_{n-1})}{t_n - t_{n-1}} = A \cdot i(t_n) \cdot v(t_n) - B \cdot G(t_n) - C \cdot \exp(D \cdot G(t_n)), \quad (10)$$

где  $t_n$  – момент времени, которому соответствуют значения  $v(t)$  и  $i(t)$ ;  $i(t_n)$  и  $v(t_n)$  – значения тока и напряжения в момент времени  $t_n$ ;  $G(t_n) = i(t_n)/v(t_n)$  – проводимость лампы в момент времени  $t_n$ ;

– для аппроксимации уравнение (10) представлялось как

$$y = A \cdot V^2 \cdot x - B \cdot x - C \cdot \exp(D \cdot x), \quad (11)$$

где  $x = G(t_n)$  – независимая переменная,  $y = [G(t_n) - G(t_{n-1})] / (t_n - t_{n-1})$  – зависимая переменная,  $V$  – среднее значение  $v(t_n)$ , которое определяется применительно к установившемуся режиму работы лампы;

– при конкретном значении мощности лампы на основе измеренных при нормированном напряжении сети тока лампы и напряжении на лампе определялись зависимости  $x$  и  $y$  от



времени. Соответствующая электрическая схема представлена на рис. 4. Формы напряжения и тока (в формате.csv и в формате изображений) определялись с помощью цифрового запоминающего осциллографа *Tektronix 1012B*. Для косвенного (через эквивалентное падение напряжения) получения формы тока использовался низкоомный резистор с известным сопротивлением (0,66 Ом). Для измерения действующих значений напряжения на лампе, потребляемой мощности, коэффициента мощности и напряжения на ПРА использовался цифровой ваттметр *Yokogawa WT 210*;

– и наконец, с помощью пакета программ аппроксимации кривых в «*Matlab*» [22] рассчитывались численные значения коэффициентов *A*, *B*, *C* и *D* для конкретной мощности лампы. Затем на основе экспериментальных данных формировался ряд зависимостей *y* от *x*, после чего уравнение (11) использовалась в качестве базового. Затем выбиралась наилучшая аппроксимирующая кривая и определялись коэффициенты модели (табл. 1). Одновременно с последними табулировались и измеренные значения параметров ПРА (табл. 2).

Как следует из табл. 1, при изменении мощности лампы меняются и значения коэффициентов модели *A*, *B*, *C* и *D*, чего и следовало ожидать, так как эти коэффициенты, как указывалось в разделе 3, определяются протекающими в лампах процессами. Таким образом, изменения коэффициентов модели отражают изменения электрических и фотометрических характеристик системы лампа-ПРА, таких как ток, напряжение, падение напряжения на ПРА, световой поток. Учитывая это обстоятельство, изменения коэффициентов описываются посредством аппроксимации соответствующих кривых с помощью пакета программ аппроксимации кривых «*Matlab*» [23]. Аппроксимирующие кривые приведены на рис. 5 и в табл. 3.

Четыре полученные в итоге функции позволяют определить коэффициенты модели для любой КЛЛ, мощность которой лежит в охваченном диапазоне. Это приводит к изменению модели лампы в «*Simulink*» путём модификации МПМ заменой четырёх усилительных блоков на четыре задаваемых пользователем функции *A(W)*, *B(W)*, *C(W)* и *D(W)*. Для этого исполь-

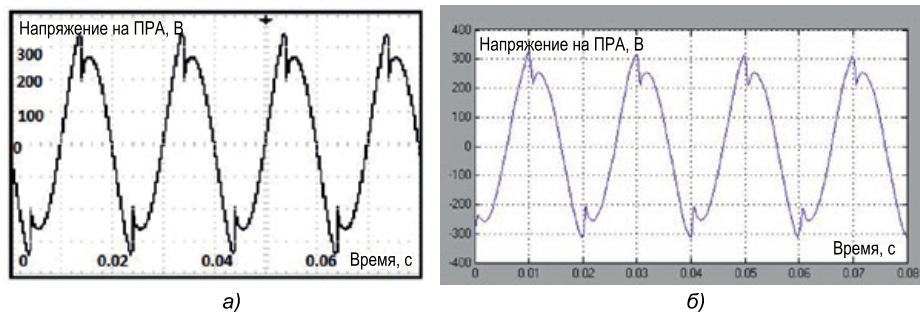


Рис. 10. Форма напряжения на ЭмПРА в цепи с КЛЛ мощностью 9 Вт при напряжении сети 240 В, 50 Гц: а – измеренная; б – расчётная

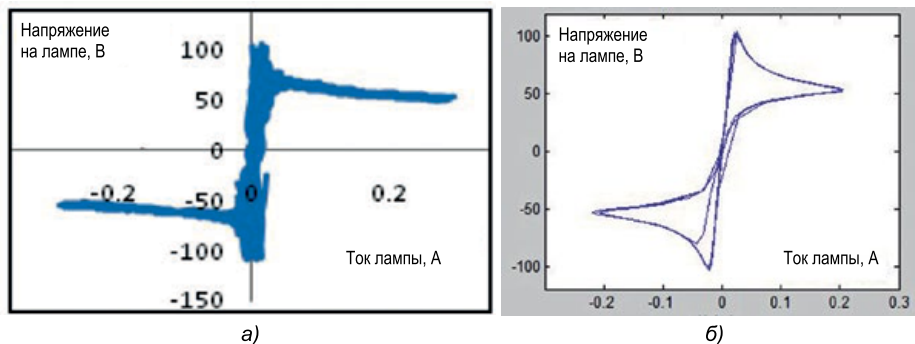


Рис. 11. Вольт-амперная характеристика КЛЛ мощностью 9 Вт при напряжении сети 240 В, 50 Гц: а – измеренная; б – расчётная

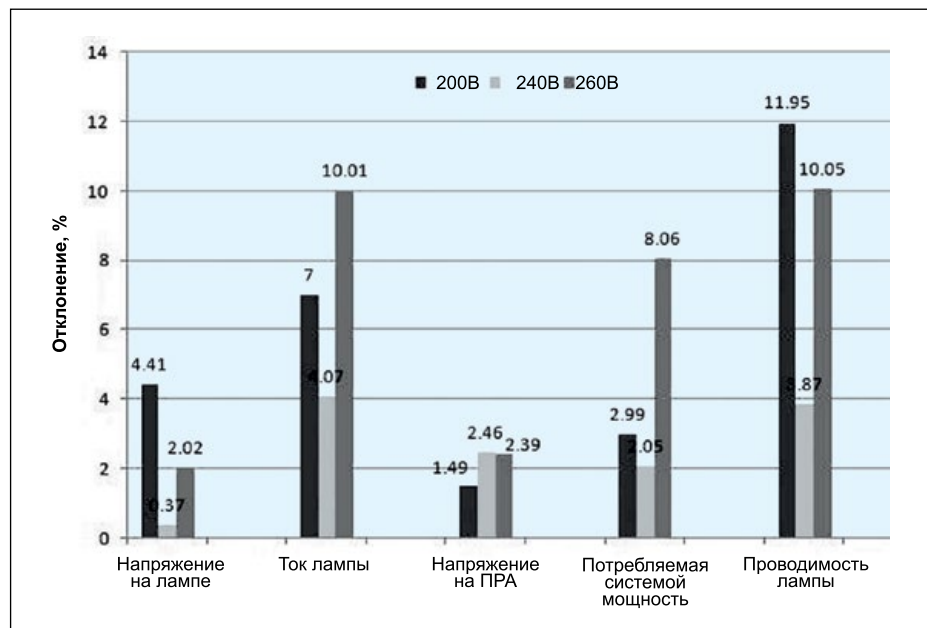


Рис. 12. Относительное отклонение результатов расчётов от результатов измерений (см. табл. 4)

зуются четыре «блока функций», которые при заданной мощности лампы генерируют коэффициенты *A*, *B*, *C* и *D* модели именно этой лампы. Пример задания входного параметра функции *A(W)* приведён на рис. 6. Выходные данные блоков функций преобразуются так, чтобы обеспечивать возможность математических расчётов. МПМ, модифицирован-

ный применительно к независимой от мощности модели, показан на рис. 7.

## 6. Экспериментальная проверка разработанной независимой от мощности модели

Реализованная в «*Simulink*» независимая от мощности модель лампы проверялась путём сравнения резуль-

Расчётные значения коэффициентов модели лампы (получены для напряжения сети 240 В, 50 Гц)

Мощность лампы, Вт	Изготовитель и модель	Расчётные значения коэффициентов			
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
7	<i>Osram Dulux S</i>	0,9559	1574	1	1,671
10	<i>Osram Dulux S</i>	0,503	1497	0,5	2
11	<i>Osram Dulux S</i>	0,2514	1374	0,4	4,095
13	<i>Osram Dulux S</i>	0,1884	771,7	0,35	5,003
18	<i>Osram Dulux D</i>	0,06	494,2	0,1	9,99

Таблица 2

Измеренные значения параметров ЭмПРА

Мощность лампы, Вт	ЭмПРА		
	Параметр		Изготовитель
	Сопротивление $R_B$ , Ом	Индуктивность $L_B$ , Гн	
7	139,15	3,88	<i>ECB</i>
10	195,36	4,48	<i>Philips</i>
11	138,82	4,84	<i>ECB</i>
13	195,25	4,03	<i>Philips</i>
18	104,39	3,51	<i>Philips</i>
9 (для проверки модели)	123,5	4,245	<i>Philips</i>

татов расчётов с экспериментальными данными, полученными с реальной лампой. Для проверки использовалась КЛЛ компании *Osram* мощностью 9 Вт, и в окне модели задавалось значение мощности 9 Вт. Вначале было проведено сравнение форм тока и напряжения, полученных в результате моделирования и измеренных с помощью цифрового запоминающего осциллографа *Tektronix 1012B* (рис. 8–10). Расчётная форма напряжения на лампе хорошо согласуется с экспериментальной, которую можно описать как переменное прямоугольное напряжение с ярко выраженными пиками переза зажигания при каждом переходе через ноль. Формы тока лампы (как расчётная, так и экспериментальная) несколько отклоняются от чистой синусоиды (из-за наличия нелинейности в системе с разрядной лампой). В отличие от предшествующих работ, в этой работе была рассчитана и сопоставлена с экспериментальной также форма напряжения на ПРА. Можно заметить, что перемен-

ное напряжение на ПРА имеет два следующих друг за другом пика, первый из которых выше второго, причём весь цикл продолжительностью 20 мс соответствует частоте сети (50 Гц). Кроме того, амплитуда напряжения на ПРА и его действующее значение почти в четыре раза превышают соответствующие параметры лампы. В дополнение к этому, на рис. 11 приведены вольт-амперные характеристики лампы  $v(t)-i(t)$ , на которых наблюдаются «петли» в зонах положительного и отрицательного пиков тока лампы.

Приведённые на рис. 8–10 формы тока и напряжения соответствуют нормированному напряжению питания (240 В, 50 Гц). При изменении последнего они, в принципе, не меняются — меняются лишь амплитуды (при условии постоянства частоты питающего напряжения). Было проведено сравнение измеренных и расчётных значений напряжения на лампе, тока лампы, потребляемой мощности, напряжения на ПРА и проводимости лампы при минимальном (200 В),

нормированном (240 В) и максимальном (260 В) значениях напряжения питания и номинальной частоте 50 Гц (табл. 4). Были рассчитаны относительные отклонения результатов расчётов от результатов измерений,

$$\text{Отклонение (\%)} = \left| \frac{\text{Измерение} - \text{Расчёт}}{\text{Измерение}} \right| \cdot 100\%,$$

которые представлены на рис. 12.

Приведённые на рис. 12 результаты говорят о том, что минимальные отклонения имеют место при нормированном значении напряжения питания (240 В) и не превышают 5% для всех электрических параметров. При наименьшем и наибольшем напряжениях питания (200 и 260 В соответственно) эти отклонения возрастают. Максимальное отклонение (11,95%) наблюдалось у проводимости лампы при напряжении питания 200 В.

Последний этап процесса проверки модели предусматривал построение графиков зависимостей разных

Сводка результатов подбора аппроксимирующей кривой

Коэффициенты	Аппроксимирующая кривая	Тип кривой	Значения коэффициентов
$A(W)$	$A(W) = a \cdot \exp(b \cdot W) + c \cdot \exp(d \cdot W)$	Экспонента	$a = 18,95; b = -0,3703;$ $c = -0,387 \cdot 10^{14}; d = -5,019$
$B(W)$	$B(W) = a_1 \exp\left[-\left(\frac{W-b_1}{c_1}\right)^2\right]$	Гаусса	$a_1 = 1460; b_1 = 7,55; c_1 = 9$
$C(W)$	$C(W) = a_2 \cdot \exp(b_2 \cdot W) + c_2 \cdot \exp(d_2 \cdot W)$	Экспонента	$a_2 = 4,7 \cdot 10^{12}; b_2 = -4,42;$ $c_2 = -2,6; d_2 = -0,167$
$D(W)$	$D(W) = p_1 W^3 + p_2 W^2 + p_3 W + p_4$	Кубический многочлен	$p_1 = -0,0078; p_2 = 0,3273;$ $p_3 = -3,536; p_4 = 13,01$

Таблица 4

Параметры системы лампа-ЭмПРА (измеренные и расчётные)

Параметр	Напряжение питания					
	200 В		240 В (нормированное)		260 В	
Напряжение на лампе, В (эффективное)	Измеренное	55,1	Измеренное	51,2	Измеренное	49,4
	Расчётное	52,67	Расчётное	51,01	Расчётное	50,4
Ток лампы, А (эффективный)	Измеренный	0,1243	Измеренный	0,172	Измеренный	0,206
	Расчётный	0,133	Расчётный	0,165	Расчётный	0,186
Напряжение на ЭмПРА (эффективное)	Измеренное	182	Измеренное	227	Измеренное	248
	Расчётное	179,3	Расчётное	221,42	Расчётное	242,1
Мощность системы, Вт	Измеренная	9,7	Измеренная	12,7	Измеренная	15,75
	Расчётная	9,41	Расчётная	12,44	Расчётная	14,25
Проводимость лампы, мСм	Измеренная	2,26	Измеренная	3,36	Измеренная	4,18
	Расчётная	2,53	Расчётная	3,23	Расчётная	3,76

электрических параметров системы лампа-ПРА от напряжения питания, для чего напряжение питания изменяли в интервале 200–260 В с шагом в 5 В при неизменной частоте 50 Гц. Полученные при этом результаты, представленные на рис. 13, говорят о том, что при увеличении напряжения питания падает напряжение на лампе, а ток лампы и напряжение на ПРА при этом растут. Средние значения мощности, потребляемой лампой и ПРА, с ростом напряжения питания также растут вследствие увеличения омических потерь и потерь в сердечнике ЭмПРА. Результаты расчётов близки к результатам измерений, особенно в обычном для КЛЛ диапазоне изменения напряжения питания (220–250 В). Для лучшей демонстрации точности модели на рис. 13, е приведены зависимости от напряжения питания расхожде-

ний между расчётными и измеренными значениями таких параметров системы лампа-ПРА, как напряжение на лампе, ток, напряжение на ПРА и средняя потребляемая мощность.

## 7. Заключение

Была предложена, реализована и проверена независимая от мощности модель разрядной лампы, применимая к КЛЛ малой мощности без встроенного ЭмПРА (т.е. с выносным ЭмПРА), работающим на низкой (50 Гц) частоте. Расчётные формы тока, напряжения и вольт-амперные характеристики хорошо согласуются с измеренными. Наиболее точное прогнозирование электрических параметров имеет место при напряжениях питания, близких к нормированному (240 В): отклонение от ре-

зультатов измерений в этом случае не превышает 5%.

К основным достоинствам предложенной модели можно отнести то, что, во-первых, она применима в широком диапазоне изменения мощности КЛЛ (7–18 Вт), что облегчает расчёт коэффициентов модели, во-вторых, она не требует от производителей ламп предоставления какой бы то ни было конфиденциальной информации и, в-третьих, её легко понять и применять, так как в неё не входят такие физические характеристики разряда, как подвижность ионов или распределение электронов по энергии. Однако подобные упрощения могут приводить к определённой неточности модели, особенно вблизи верхней (260 В) и нижней (200 В) границ диапазона изменения питающего напряжения.



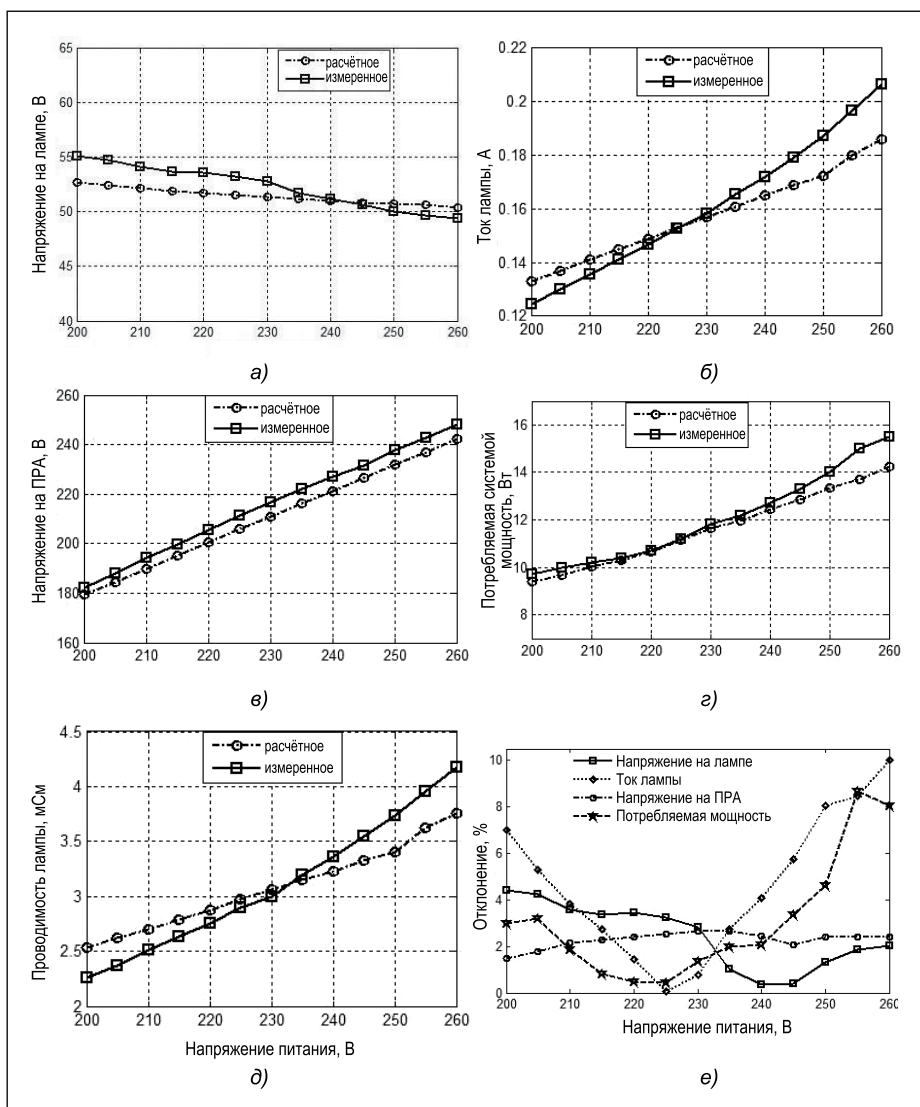


Рис. 13. Изменение электрических характеристик КЛЛ мощностью 9 Вт при изменении напряжения сети: а – напряжение на лампе (действующее), б – ток лампы (действующий), в – падение напряжения на ЭмПРА (действующее), г – средняя мощность, потребляемая системой лампа-ПРА, д – средняя проводимость лампы, е – отклонение расчётных значений параметров системы лампа-ЭмПРА от измеренных

Основным назначением разработанной модели является облегчение процесса конструирования ПРА, и хотя предложенная нами модель разработана для низких частот питания, аналогичную модель можно создать и для работы на высоких частотах. В настоящее время исследования в области качества энергии должны охватывать и системы лампа-ПРА, которые считаются основным источником появления гармоник. При этом может оказаться полезной и предложенная модель. Представленный здесь исключаящий зависимость от мощности подход к моделированию применим и к разрядным лампам ВД.

Экспериментальная часть этой работы выполнялась в светотехнической лаборатории Джадавпурского

университета, Колката, Индия. Приборы были получены в рамках индийских правительственных программ «TEQIP-I» и «-II».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Griffiths, A. 21<sup>st</sup> Century Lighting Design / 1<sup>st</sup> Ed. – Bloomsbury Publication, UK, 2014. – P. 160–200.
2. Blanco, C., Antón, J.C., Robles, A., et al. A discharge lamp model based on lamp dynamic conductance / IEEE Trans. Power Electron. – 2007. – Vol. 22, No. 3. – P. 727–734.
3. Yan, W., Hui, S.Y.R., Chung, H., Cao, X.H. Genetic algorithm optimized high-intensity-discharge lamp model// IEE Electronic Letters. – 2002. – Vol. 38, No. 3. – P. 110–112.
4. Laskowski, E.L., Donoghue, J.F. A Model of Mercury Arc Lamp's Terminal V-I behavior// IEEE Trans. on Industry Applications. – 1981. – Vol. IA-17, No. 4. – P. 419–426.

5. Yan, W., Hui, S.Y.R. A universal PSpice model for HID lamps// IEEE Trans. Ind. Appl. – 2005 – Vol. 41. – P. 1594–1602.

6. Yan, W., Hui, S.Y.R., Chung, H. Nonlinear high-intensity discharge lamp model including a dynamic electrode voltage drop// IEE Proc. Sci. Meas. Technol. – 2003. – Vol. 130, No. 4. – P. 161–167.

7. Lin, D., Yan, W., Hui, S.Y.R. Modelling the warm-up phase of the starting processes of high-intensity discharge lamps// IET Sci. Meas. Technol. – 2011. – Vol. 5, No. 6. – P. 199–205.

8. Lin, D., Yan, W., Hui, S.Y.R. Modeling of Dimmable Fluorescent Lamp Including the Tube Temperature Effects// IEEE Trans. on Ind. Electronics. – 2011. – Vol. 58, No. 9. – P. 4145–4152.

9. Yan, W., Tam, E., Hui, S.Y.R. A Semi-Theoretical Fluorescent Lamp Model for Time-Domain Transient and Steady-State Simulations// IEEE Trans. on Power Electronics. – 2007. – Vol. 22, No. 6. – P. 2106–2115.

10. Zissis, G., Damelincoart, J.J., Bezanahary, T. Modelling discharge lamps for electronic circuit designers: A review of the existing methods// IEEE Proceedings of the Industrial Application Society, 2001, P. 1260–1262.

11. Francis, V.J. Fundamentals of Discharge Tube Circuits. London: Methuen and Co. LTD, 1948. – P. 39–48.

12. Koprnický, J. Electric Conductivity Model Of Discharge Lamps – Self Report of PhD Thesis// Technical University of Liberec and University Paul Sabatier Toulouse, Laboratory of Plasma and Energy Conversion, 2007. – P. 21–22.

13. Antón, J. C., Blanco, C., Ferrero, F., Roldán, P., Zissis, G. An equivalent conductance model for high intensity discharge lamps / Proc. IEEE IAS Conf., 2002. – P. 1494–1498.

14. Antón, J. C., Blanco, C., Ferrero, F., Roldán, P., Zissis, G. Simulation of the dynamic behavior of HID lamps based on electrical conductance// in Proc. IEEE IECON, 2002. – P. 462–467.

15. Loo, K.H. et al. A Dynamic Collisional-Radiative Model of A Low-Pressure Mercury-Argon Discharge Lamp: A Physical Approach to Modeling Fluorescent Lamps for Circuit Simulations// IEEE Trans. on Power Electronics. – 2004. – Vol. 19, No. 4. – P. 1117–1129.

16. Loo, K.H. et al. A Dynamic Conductance Model of Fluorescent Lamp for Electronic Ballast Design Simulation// IEEE Trans. on Power Electronics. – 2005. – Vol. 20, No. 5. – P. 1178–1185.

17. Holloway, A.J. et al. A Physically Based Fluorescent Lamp Model for a SPICE or a Simulink Environment// IEEE Trans. on Power Electronics. – 2009. – Vol. 24, No. 9. – P. 2101–2110.

18. Blanco, C., Antón, J.C., Robles, A., et al. Comparison between Different Discharge Lamp Models Based on Lamp Dynamic Conductance// IEEE Trans. Industry Applications. – 2011. – Vol. 47, No. 4. – P. 1983–1991.

19. Coaton, J.R., Marsden, A.M. Lamps and Lighting, 3<sup>rd</sup> Edition, Wiley Publication, 1996. – P. 12, 57–69.

20. Spreadbury, F.G. Electric Discharge Lighting. Sir I. Pitman & Sons Ltd., 1946. – P. 57–98.

21. Gupta Bakshi, B., Roy, B. Simulink simulation and experimental verification of magnetic ballast driven Compact Fluorescent Lamps// Proc. IEEE CALCON, 2014.

22. MATLAB SimPowerSystems, a toolbox product of Mathworks dedicated to electrical circuit and system simulation: <http://in.mathworks.com/products/simpower/> (last accessed on 31.10.2015).

23. MATLAB Curve Fitting Toolbox by Mathworks: <http://in.mathworks.com/help/curvefit/cftool.html> (last retrieved on 01.10.2015).



**Бисвадип Гунта Бахши (Biswadeep Gupta Bakshi), М.Е.**

(2013 г.). Доцент Калькуттского производственно-управленческого института. Область научных ин-

тересов: математическое моделирование систем с разрядными лампами, светотехнические электронные приборы и качество энергии, потребляемой бытовыми осветительными установками



**Апараджита Дутта (Aparajita Dutta).**

Окончила в 2012 г. Индийский технический университет и в 2014 г. – аспирантуру Джадавпурского университета. Проектировщик

освещения в компании AWA Lighting Designers



**Бисванат Рой (Biswanath Roy), Ph.D. (1999 г.).**

Профессор электротехнического факультета Джадавпурского университета. Пожизненный действительный член

Индийского общества инженеров-светотехников, пожизненный член Общества инженеров (Индия) и член Светотехнического общества Северной Америки

## Письмо в редакцию

### По статье Нилова Е.Е. и Степанова В.Н.

«Дизайн освещения: трудности перевода и критерии оценки» // Светотехника. – 2016. – № 2. – С. 62–65

Авторы статьи считают, что осуществление заложенного в термине «светодизайн» («световой дизайн») смысла требует создания новой школы проектирования искусственного освещения, что, по их мнению, может привести к качественному улучшению искусственной световой среды, в которой мы живём.

В связи с этим хочу выдать несколько реплик и одно предложение.

- Согласно Советскому энциклопедическому словарю 1988 года издания, дизайн (от англ. *design* – замысел, проект, чертёж, рисунок) – термин, обозначающий различные виды проектировочной деятельности, имеющей целью формирование эстетических и функциональных качеств предметной среды. В узком смысле дизайн – художественное конструирование (вид художественной деятельности, проектирование промышленных изделий, обладающих эстетическими свойствами).

- В 1979 году вышел в свет «Международный светотехнический словарь», содержащий около 900 терминов и определений на 4 языках: трёх официальных языках МКО (французском, английском, немецком) и русском. Он явился результатом многолетней и фундаментальной работы крупных специалистов многих стран. Из советских светотехников в его подготовку внесли свой вклад 18 человек. При этом термин «световой дизайн» в нём отсутствует. Очевидно, его не будет и в очередном издании этого словаря – свода международно согласованной терминологии на базе рекомендуемых МКО единиц, величин, обозначений, формули-

ровок основных понятий. Словарь предназначен как пособие в работе и способствует употреблению единой терминологии при проектировании освещения. Термин же «светодизайн» появился относительно недавно и в разряд основных понятий ещё не вошёл.

- Вместе с тем мы сегодня встречаем много удачных примеров светодизайна (в громадных универсалах, высококлассных гостиницах, на международных выставках и так далее).

- В Санкт-Петербурге 8–9 октября прошлого года прошла Международная конференция «Световой дизайн – 2015», организованная Высшей школой светового дизайна Университета ИТМО и Творческим объединением светодизайнеров *RULD*. На ней были рассмотрены многочисленные вопросы создания и восприятия произведений светового дизайна. В эти же дни в Александровском парке города проводился Фестиваль световой культуры «*LumiFest*». (Об этих мероприятиях прекрасно рассказано в статье Н.В. Быстрянцева в журнале «Светотехника» № 6 за 2015 год.)

С учётом вышесказанного считаю целесообразным предложить авторам статьи «Дизайн освещения: трудности перевода и критерии оценки» отказаться от идеи создания новой школы проектирования художественного искусственного освещения, ибо она есть и прекрасно себя проявляет в произведениях светового дизайна. И можно лишь пожелать ей дальнейшего многогранного развития.

*Е.А. Лесман, инженер, корреспондент журнала «Светотехника», Санкт-Петербург*

# Поздравляем с юбилеем Леонида Петровича Варфоломеева!

Леонид Петрович Варфоломеев родился в Бурятии в 1936 году. Учиться пошёл сразу во второй класс, школу окончил в 1953-м. Затем – Московский энергетический институт (МЭИ) и на протяжении всей жизни – плодотворная научная деятельность. В конце 2013 года вышла книга Л.П. Варфоломеева «Элементарная светотехника» (второе издание).

«Светотехнический жанр» Леонида Петровича включает книги и брошюры по энергосбережению и эффективности освещения, по системам управления освещением, по светодиодам и их применению – всего не перечислить. По нынешним временам тиражи значительные: 2–3 тысячи экземпляров, однако спрос на эти издания постоянно растёт. Кроме того, Л.П. Варфоломеев является внештатным экспертом «Программы развития ООН» (ПРООН), а также научным редактором и одним из авторов серии различных сборников, брошюр «Новости светотехники» и уникальной в своём роде «Справочной книги по светотехнике».

**Редакция журнала «Светотехника» попросила юбиляра ответить на несколько вопросов.**

**– Леонид Петрович, как вы стали светотехником?**

– Можно сказать, случайно. Я очень люблю природу и хотел быть биологом, но в данном случае верх взяли «меркантильные соображения» – в МЭИ были высокие стипендии.

**– Финансовая сторона оказалась настолько актуальной?**

– Да. Мой отец воевал в составе Сибирской дивизии в самые горячие дни битвы за Москву. Он умер в госпитале от ран в конце октября 1941 года, похоронен в Подольске. Мама – учительница начальных классов – осталась с тремя детьми на руках. Мне кажется, в нашей стране ещё не до конца оценили не только подвиги солдат Великой Отечественной, но и героические усилия вдов, которые воспитали достойное поколение.

**– А как складывалась ваша карьера?**

– После окончания МЭИ распределился в Новосибирск, хотя мог остаться в Москве.



Три года занимался проектированием светотехнических изделий для Военно-промышленного комплекса: танки, самолёты, подводные лодки. На подлодках, кроме освещения, использовали наши специальные облучатели для теплиц и оранжерей. Начиная с «Салюта-1», практически на всех космических станциях были небольшие оранжереи, в которых проводились опыты по выращиванию высших растений в условиях невесомости.

**– Вы знали, что такого типа оранжерея экспонируется в Музее космонавтики?**

– Нет, не знал, пока случайно не увидел её там.

**– Что было после Новосибирска?**

– Вернулся в Москву и 34 года проработал во Всесоюзном научно-исследовательском светотехническом институте (ВНИСИ): старшим научным сотрудником, руководителем группы, завлабом. В 1967 году защитил кандидатскую диссертацию.

**– Леонид Петрович, у вас, насколько известно, были все предпосылки для продолжения научной карьеры. Почему вы не пошли «по той дорожке»?**

– Я никогда не ставил карьеру как самоцель. Кандидатская диссертация больших усилий не потребовала, а в дальнейшем вся эта «научная канитель» удовольствия не доставляла. Мне было интересно заниматься серьёзными проблемами, получать конкретные

результаты, потом снова «искать и не сдаваться». А желающих защищаться всегда хватало. Я сам был научным руководителем четырёх аспирантов.

**– Какую работу вы считаете самой интересной?**

– Конечно, это космос. В 1971 году меня назначили заведующим лабораторией внутреннего освещения пилотируемых космических аппаратов. В этой должности я проработал четверть века. Мы создали и практически реализовали осветительные установки станции «Салют», транспортных кораблей «Союз», «Союз-Т», «Союз-ТМ», «Прогресс», долговременных станций «Мир» и «МКС». За участие в разработке и осуществлении программы «Союз» – «Аполлон» ряд сотрудников института и Главэлктросвета были награждены высокими государственными наградами. Я получил орден «Знак Почёта».

**– С этого места, пожалуйста, по-доброму, как сейчас принято говорить. (Леонид Петрович пожимает плечами.) Не хотите? Хорошо. Тогда такой вопрос. Вы никогда не вступали в ряды КПСС, однако у вас не было проблем с разного рода «секретными допусками», в том числе при работе с иностранными специалистами. У нас многие сейчас сетуют, что их карьера не состоялась именно по причине отсутствия «членства».**

– Я с этим не согласен. Многие ответственные работники – особенно в научно-технической сфере – не были членами КПСС, хотя им время от времени предлагали в партию вступить. Но с «репрессиями» по этому поводу я не сталкивался. Люди, которые решали для страны «сверхзадачи» могли быть и «не членами», их всё равно уважали и берегли. Долгие годы во ВНИСИ должность заместителя директора по научной работе занимал беспартийный С.Г. Юров. Разумеется, бывали случаи курьёзные. При подготовке программы «Союз»–«Аполлон» в Звёздном городке беспартийные специалисты не имели права на прямой контакт с американцами. «Сортировка» производилась следующим образом: нам выдали пропуск зелёного цвета, а партийным специалистам – красного. Когда возникала потребность обсудить и ре-



шить какой-либо технический вопрос, «краснобилетчики» прибегали в кабинет к «зелёнобилетчикам» и срочно с ними консультировались.

– **Вас это огорчало?**

– Нисколько. Это было смешно. Мы делали общее дело и все старались выполнить свою работу как можно лучше. Личные амбиции отсутствовали. Нас в шутку называли тогда «теневой группой».

– **На Байконур часто летали?**

– Нет. Был два раза. Больше такой необходимости не возникало.

– **А в Звёздном городке?..**

– Туда ездил часто. У меня какое-то время был постоянный пропуск. Мы работали на учебно-тренировочных макетах (УТМ) космических кораблей и станций. Отрабатывали установку осветительной аппаратуры в кабинах космических аппаратов. Могу без ложной скромности сказать, что американские космонавты восхищались не только освещением наших кораблей, но и всей их эргономикой. То есть наши космические системы освещения неплохо обеспечивали благополучие космонавтов при их взаимодействии с космической техникой (рис. 1).

– **Леонид Петрович, вы человек бесконфликтный, но по роду деятельности вам приходилось «добывать» и «выбивать» разного рода дефицитные и «фондовые» материалы. Как вам это удавалось при мягкости характера?**

– Личным обаянием.

– **Несомненно и бесспорно, но если серьёзно?**

– «Выбивать» – это почти в точку. Однажды мне пришлось оформлять разрешение на использование в наших светильниках импортного поликарбоната, поскольку качество отечественного материала не соответствовало заявленным параметрам светильников из-за более низкого коэффициента пропускания. Применение импортных материалов и комплектующих изделий для военно-космической техники категорически запрещалось. Я должен был получить подписи четырёх заместителей министров: электротехнической и химической промышленности, общего машиностроения и обороны. Это были уже «высокие коридоры», а предварительно надо было собрать около сотни (!) виз более мелких функционеров. Я ходил по кабинетам с двумя рассеивателями. Один был из нашего поликарбо-



В Музее космонавтики 22 апреля 2011 года: а) Слева направо: лётчик-космонавт, дважды Герой Советского Союза Б.В. Волинов, Л.П. Варфоломеев, Г.И. Варфоломеева, фото В.И. Уточкина; б) ниже и левее оранжевери – основной светильник рабочего освещения МКС-5P-2, фото Г.И. Варфоломеевой

ната, другой – из импортного. Объяснив ситуацию, я выкладывал рассеиватели на стол очередного «подписанта» и с размаху бил кулаком по каждому из них. Хозяин кабинета от неожиданности подпрыгивал вместе со стулом и сразу ставил на документ необходимую подпись. Таким способом я демонстрировал, что импортный материал ничуть не хуже нашего по ударной прочности, но гораздо лучше по другим параметрам. Кстати, разрешение, полученное мною в 1974 году, действует до сих пор.

– **Лихо! Рука потом не болела?**

– Нет.

– **В вашей лаборатории был хороший коллектив? (Леонид Петрович оживился.)**

– Очень хороший. Никогда не было свар и склок. Если возникала необходимость, работали сверхурочно, не вымогая за это никаких поблажек. Мы были энтузиастами своего дела, любили его, поэтому наша лаборатория всегда считалась образцом для подражания.

– **Чем вы интересовались помимо работы?**

– Чем только не интересовался. До сих пор (по мере возможности) люблю путешествовать. В советские времена с туристическими группами объездил почти всю страну. За границей побывал только в 1996 году, до той поры считался «невыездным». Люблю классическую музыку, литературу... «Окружающая среда» постоянно даёт повод чем-либо увлечься, жаль только, что на всё не хватает времени.

– **Леонид Петрович, а как идёт освоение новой техники? С компьютером Вы «на ты»?**

– Компьютер освоил 14 лет назад. Не могу сказать, что между нами «панибратские отношения», но дружим. Хотя,

он иногда преподносит сюрпризы: то запятые сам наставит, куда не надо, то слова исправляет невпопад.

– **Социальные сети посещаете?**

– Нет. Мне это совсем не интересно и времени жалко.

– **А на что времени не жалко?**

– На творчество. Книжки пишу с удовольствием. Являюсь членом редколлегии журнала «Светотехника», который издаётся с 1932 года и выжил вопреки всем обстоятельствам. Стараюсь быть в курсе событий в стране и в мире. Посещаю выставки, экскурсии и музеи. Езжу в древние города и городки нашей страны. За границу почему-то не тянет. Дома ещё столько интересного.

– **Леонид Петрович, что больше всего огорчает вас в этой жизни?**

– Многое огорчает. Если коротко, то в личном плане – уход родных и близких людей. В общественном – распад Советского Союза.

– **Что вы пожелаете читателям журнала «Светотехника»?**

– Здоровья и счастья в личной жизни.

(Интервью записала Г.И. Варфоломеева)

*Редколлегия и редакция журнала, друзья и коллеги поздравляют Леонида Петровича с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия, как можно больше интересных путешествий по России и за её пределами, неразрывных творческих контактов с журналом, постоянного участия в его развитии и продвижении, в подготовке молодого кадрового состава редакционной коллегии*

## Искусственное освещение медицинских учреждений

Отечественная нормативная база по искусственному освещению медицинских помещений содержится в следующих документах: [1] (введён 15.06.2003); [2] (введён 01.01.2004); [3] (введён 01.01.2008); [4] (введён 01.07.2014); [5] (введён 01.06.2014).

При этом:

- Документ [1] создан на основе документа [6] с сохранением принятой в последнем табличной нумерации строительных норм и с указанием требований к освещению учреждений здравоохранения в пунктах 103–180 таблицы 2.

Характерно, что в последующих выпусках СанПиН, касающихся отдельных зданий и помещений, требования к искусственному освещению, как правило, не соответствуют требованиям СанПиН [1].

- В документе [2] требования к освещению учреждений здравоохранения указаны в таблице 4.2. При этом перечень помещений, в которых требуется проектировать искусственное освещение, меньше, чем в документах [6] и, соответственно, [1].

- В документе [3] требования к освещению медицинских помещений указаны в пунктах 710.55.1 (цепи освещения) и 710.556.7.5 (аварийное освещение).

- ГОСТ [4] основан на евростандарте EN [7].

Важно заметить следующее:

- Главное: в ГОСТ [4] не сказано, что он выполнен на основе EN [7].

В ГОСТ [4] требования к освещению учреждений здравоохранения сведены в одну таблицу (№ 42), при этом отдельные позиции таблицы не соотнесены с конкретными требованиями из таблиц в EN [7].

По принятой в Росстандарте классификации, текст ГОСТ [4] нельзя считать модифицированным (MOD) по отношению к EN [7], так как: текст ГОСТ не соответствует тексту EN; нумерация таблиц в нём не соответствует нумерации в EN; тексты отдельных таблиц и примечания к ним переведе-

ны не полностью; введена новая таблица (№ 4) с данными о коэффициенте эксплуатации MF, которая не соответствует требованиям по таблице 3 («Коэффициенты запаса для естественного и искусственного освещения») документа [8], так как в ней не указаны эксплуатационные группы светильников и все помещения по таблице 3, для которых следует определять MF, а также не учтено примечание 2 из таблицы 3 документа [8].

Для придания ГОСТ [4] «статуса» MOD и возможности проектировщикам целенаправленно пользоваться этим стандартом необходимо, как это принято в Росстандарте, выполнить полный перевод EN [7], а необходимые изменения и дополнения к новой редакции стандарта указать курсивом. (После чего стандарт будет обозначаться «ГОСТ Р 50571–2013 / EN12464–1–2011».) Примером правильного оформления модифицированного стандарта может служить разработанный во ВНИСИ ГОСТ [9].

В новой редакции ГОСТ [4] проектировщикам необходимо объяснить, что:

- в действующих документах [1, 2, 5, 8] нормируется минимальная освещённость, а в ГОСТ [4] – средняя;

- вместо показателя ослеплённости Р и показателя дискомфорта М, указываемых в документах [1, 2, 5, 8], следует определять обобщённый показатель дискомфорта UGR.

- В документе [5], разработанном в ОАО «Гипроздрав», требования к освещению учреждений здравоохранения приведены в таблице Н.1 обязательного приложения Н («Показатели освещённости при естественном, искусственном и совмещённом освещении основных помещений зданий медицинских организаций»). По сравнению с другими нормативными документами в этом (в таблице Н.1) указано большее количество помещений, в которых требуется определять освещённость.

- В пункте 1.2 документа [8] отмечается, что «настоящий свод правил не распространяется на проектирование освещения лечебно-профилактических учреждений».

Отдельные требования к освещению лечебно-профилактических помещений приведены в приложении К этого документа: пункт 48 (медицинский кабинет в детских дошкольных учреждениях); пункт 49 (палаты, спальные комнаты в санаториях, домах отдыха, пансионатах); пункт 84 (здравпункты во вспомогательных зданиях и помещениях).

Надо отметить, что в Постановлении Правительства РФ от 26.12.2014 № 1521 утверждён перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». В частности, в этот перечень входит документ [8]: «37. СП 52.13330.2011 «СНиП 23–05–95\* «Естественное и искусственное освещение». Разделы 1 (пункты 1.1, 1.2), 4–6, 7 (пункты 7.1–7.35, 7.37, 7.38, 7.40, 7.45–7.86, 7.101–7.122), приложение К». При этом раздел 7 («Искусственное освещение») этого документа содержит пункты 7.104–7.114 (аварийное освещение) и 7.122 (охранное и дежурное освещение).

Требования к аварийному, охранному и дежурному освещению, указанные в пункте 7.122, необходимо выполнять при проектировании учреждений здравоохранения наряду с требованиями по ГОСТ [3].

В таблице приведены мнения автора о применимости нормативных документов [1–5, 8] в проектах учреждений здравоохранения.

В заключение надо сказать, что:

- Необходимо создать новую, модифицированную, редакцию ГОСТ [4], соответствующую требованиям Росстандарта. В ней необходимо объяснить (проектировщикам), что в действующих нормативных документах [1, 2, 5, 8] и в других нормируется минимальная освещённость, а в ГОСТ

№№	Нормативный документ	Применимость в проектах учреждений здравоохранения
1	[1]	Применять нецелесообразно
2	[2]	
3	[3]	Необходимо применять
4	[4]	Целесообразно применять. При этом из сравнения данных, приведённых в таблицах документов [4, 5] для одного конкретного помещения, следует принимать данные (по освещённости и обобщённому показателю дискомфорта), обеспечивающие лучшие условия зрительной работы. ГОСТ [4] целесообразно применять до его корректиры – выпуска новой модифицированной редакции
5	[5]	
6	[8]	Необходимо применять в части, касающейся аварийного освещения

[4] – средняя и что вместо показателя ослеплённости Р и показателя дискомфорта М следует применять обобщённый показатель дискомфорта UGR.

– Вопрос уменьшения значений коэффициентов запаса, указанных в таблице 3 документа [8], требует всестороннего изучения и принятия практических решений.

– Целесообразно подкорректировать показатели искусственного освещения в таблице Н.1 приложения Н документа [5] в сторону соответствия EN [7].

– Необходимо разработать нормативные требования к применению освещения светодиодами в учреждениях здравоохранения, учитывающие отечественный и зарубежный опыт.

– Необходимо разработать указания по выбору и установке светильников и источников света в учреждениях здравоохранения.

– Целесообразно публиковать в журнале «Светотехника» больше статей отечественных и зарубежных специалистов по освещению учреждений здравоохранения.

– Целесообразно выполнить перевод брошюры «Хорошее освещение в учреждениях здравоохранения», изданной обществом *Gutes Licht*, Германия.

– Требования к искусственному освещению учреждений здравоохранения необходимо указывать в задании на проектирование, выполняемом в соответствии со статьёй 759

Гражданского кодекса Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий», с изменением и дополнением от 15.03.2010 № 1 СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10.

2. СП 31–110–2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий».

3. ГОСТ Р 50571.28–2006 (МЭК 60364–7–710:2002) «Электроустановки зданий. Часть 7–710. Требования к специальным установкам. Электроустановки медицинских помещений».

4. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение внутри зданий. Нормы и методы измерений».

5. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования».

6. МГСН 2.06–99 «Естественное, искусственное и совмещённое освещение».

7. EN12464–1:2011 Light and Lighting – Lighting of work places. Part 1. Indoor work places.

8. Свод Правил СП 52.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\* «Естественное и искусственное освещение» – М.: ОАО «ЦПП», 2011.

9. ГОСТ Р 55842–2013 / ИСО 30061:2007 «Освещение аварийное. Классификация и нормы».

*Р.И. Пашковский, инженер-проектировщик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге*

Количество транспортных средств на российских дорогах растёт день ото дня. При интенсивном движении, особенно в вечернее и ночное время суток, на первый план выходят безопасность и комфорт, немаловажную роль в обеспечении которых играет правильное освещение.

Эксперты ООО «Светосервис-СПб» (холдинг «БЛ ГРУПП») как никто другой понимают, как важно разработать проект освещения, соответствующий всем необходимым регламентам и нормам. Более того, наличие в Холдинге собственных производственных площадок, а значит – возможности создания комплексного решения «под ключ», применения новых технологий и ответственности за качество услуг, позволяют выполнять работы самой высокой степени сложности.

Проект по модернизации наружного освещения кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга в рамках государственного контракта как раз продемонстрировал навыки и умения команды «Светосервис-СПб».

На дорожном участке от станции Горская до Приозерского шоссе были демонтированы 10-метровые опоры со светильниками с натриевыми лампами. Устаревшее оборудование заменили новыми 20-метровыми мачтами «МГФ» (110 штук), созданными под заказ, и светодиодными светильниками «Волна» (525 штук). Использование светодиодов вместо ламп позволит добиться высокой энергоэффективности и качества освещения.

Работы на участке будут завершены к началу сентября.

*Поздравляем с юбилеем!*



Редакция и редколлегия журнала, коллеги и друзья поздравляют с юбилеем

*Татьяну Львовну Фролову,*

проработавшую во ВНИСИ им. С.И. Вавилова более полувека, и желают ей здоровья и многих радостей



## *Поздравляем с Юбилеем Константина Абрамовича Томского!*



К.А. Томский родился 8 июля 1946 года в послевоенном Ленинграде в семье военного. После 7-го класса поступил в Ленинградский техникум авиаприборостроения на специальность «Автоматика и телемеханика», который окончил в 1964 году. Одновременно, начиная с 1962 года (в 15 лет), начал трудовую деятельность в качестве слесаря-сборщика радиоаппаратуры на заводе «Вибратор». После окончания техникума работал настройщиком радиоаппаратуры на заводе «Электропульт». 1965–1968 г.г. – служба в Советской Армии (механик кросса 1-го класса). После армии – завод «Арсенал»: конструктор, ведущий инженер отдела подготовки производства, ответственный за НИОКР. За 3,5 года закончил обучение в Северо-западном заочном политехническом институте по специальности «Радиотехника». Тема диплома: «Расчёт и конструкция неселективной (всеволновой) антенны». В 1986 году перешёл в ПО

«Энергомашпроект»: ведущий инженер, ГИП, начальник планово-производственного отдела. С переходом на хозрасчёт начал внедрять новые экономические формы в своём и других институтах Ленинграда. Впервые для этих целей использовал ЭВМ. В 1982 и 1984 г.г. Томский последовательно прошёл обучение на специальном факультете ЛИТМО по специальности «Технологический маркетинг» и в Международном инкубаторе при Правительстве РФ по специальности «Коммерциализация технологий в оптическом приборостроении». Полученные знания и опыт работы на ведущих советских предприятиях позволили в 1991 году учредить и организовать научно-техническое предприятие «ТКА» (первоначально малое частное предприятие). Основной профиль – проектные и научно-исследовательские работы и разработка измерительной техники. Один из первых успешных проектов – разработка и выпуск небольшой партии приборов для

ведущих музеев страны: Эрмитаж, Русский музей, Третьяковская галерея и другие. Впервые в одном портативном приборе были объединены каналы для прямых измерений видимого и УФ излучений. Начиная с этой работы, сформировалась эффективно действующая до сих пор команда: Олег Михайлович Михайлов (д.т.н., бывший главный метролог ГОИ, руководитель научной школы «Энергетическая фотометрия и колориметрия»), Кузьмин Владимир Николаевич (д.т.н., заместитель директора по оптике и фотометрии), Барбар Юрий Алексеевич (к.т.н., технический директор) и Томский Константин Абрамович (генеральный директор). За 25 лет совместной работы были разработаны и серийно выпускались десятки типов приборов в ранге средств измерений, образцовых средств и рабочих эталонов, выполнены более 20 НИОКР по заказам министерств, ведомств и организаций. К началу научно-производственной деятельности Томского сложилась ситуация, при которой фотометры нового поколения требовались практически во всех отраслях деятельности по всей стране, создание их стало актуальной задачей. Основная стратегия развития предприятия, сформированная К.А. Томским, базировалась на:

- потребности измерительной фотометрической техники в самых различных отраслях народного хозяйства;

- высоком уровне отечественной оптической промышленности, в особенности при выполнении разовых общегосударственных программ;

– ориентации на отечественные разработки, на отечественное программное и метрологическое обеспечение.

В результате этой стратегии получены следующие результаты:

– создана линейка приборов и комплексов, обеспечивающая измерения основных фотометрических параметров и параметров микроклимата при оценке условий труда в производственных помещениях;

– разработана конструкция и поставлены на производство фотометры технологического назначения – приборы для измерения координат цвета и цветности, измерители цветовой температуры, оптической плотности прозрачных и непрозрачных объектов, измерители пульсации источников излучения; при этом измерители цвета изготовлены для определения координат цвета как самосвечящихся объектов, так и отражающих покрытий с учётом их освещения различными типами стандартных источников света (A, B, C, D);

– проведены исследования возможности создания фотометра для работы в вакуумной ультрафиолетовой области, для решения одной из важных измерительных задач – измерения влажности воздуха (газов); создан оптический гигрометр, позволяющий измерять влажность воздуха в газах и в газовых потоках в реальном масштабе времени с индикацией всех основных характеристик влажности: абсолютной влажности, относительной влажности, температуры точки росы;

– реализован комплекс научно-технических решений, обеспечивающий прецизионное серийное производство оптических элементов и модулей с требуемой погрешностью измерений; для ряда приборов созданы средства метрологического обеспе-

чения, например, разработан специальный калибратор для градуировки измерителей пульсации оптического излучения «ТКА-Пульс», разработан генератор влажного воздуха для исследования оптического гигрометра, созданы и аттестованы в установленном порядке стенды для градуировки всех типов фотометров «ТКА»;

– при НТП «ТКА» создан аккредитованный органами Госстандарта калибровочный центр, где разрабатывается научно-техническая документация, необходимая для выпуска приборов и проведения государственных испытаний, кроме того по желанию заказчиков калибровочный центр организует калибровку и поверку средств измерений с выдачей свидетельств установленного образца.

С момента создания Научно-техническое предприятие «ТКА» разрабатывало оригинальные приборы и комплексы, которые нуждались в квалифицированном научном и техническом сопровождении. Несмотря на объективные трудности и отсутствие государственного финансирования Томским были созданы условия для проведения НИОКР и подготовки научных кадров на собственном малом предприятии. Сотрудниками НТП «ТКА» защищены 3 докторские и 7 кандидатских диссертаций.

Кандидатская диссертация Томского «Комплексные исследования и создание измерителей видимого и ультрафиолетового излучения» защищена в 1999 году.

Его докторская диссертация на тему «Оптико – электронные приборы для измерения фотометрических величин» была высоко оценена не только при защите в совете ИТМО в 2004 году, но и на заседании экспертного Совета ВАК, где была отмечена ак-

туальность, научная и практическая значимость работы.

К.А. Томский является автором более 130 научных трудов, 9 патентов на изобретение, при его участии разработаны полезные модели и программы обработки данных. В числе монографий и учебных пособий, подготовленных с его участием: «Основы светотехники», «Оптические измерения», «Физические основы фотометрии», «Теория цвета», «Колориметрия», «Зависимость качества экранного изображения от источника излучения», Справочник по кино-фототехнике, «Коммерциализация технологий в светотехнике», «Светотехнические измерения». Для подготовки квалифицированных специалистов-светотехников по инициативе Константина Абрамовича была создана единственная в Северо-Западном регионе РФ выпускающая кафедра светотехники СПб ГУ Кино и телевидения, где он является заведующим этой кафедрой и членом 2-х докторских диссертационных советов, автором нескольких новых учебных дисциплин. В 2008 году ему присвоено учёное звание «профессор». К.А. Томский активный член редакционной коллегии журнала «Светотехника» и активный общественный деятель: он член общественного Совета при администрации Фрунзенского района Санкт-Петербурга и 2-кратный победитель городских программ «Лучший предприниматель Санкт-Петербурга в инновационной сфере».

**Редакция журнала «Светотехника», его редакционная коллегия, а также друзья и коллеги поздравляют Константина Абрамовича со знаменательной датой, желают здоровья, счастья, успехов в творческой, научной и просветительской деятельности на ниве светотехнического образования**



# interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

**8 — 11 ноября 2016**

ЦВК «Экспоцентр», Москва



messe frankfurt



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)



**interlight**

MOSCOW

powered by light + building

В рамках международной выставки  
декоративного и технического освещения,  
электротехники и автоматизации зданий



## 10-й Юбилейный Форум по LED-технологиям

# 8 - 9 ноября 2016

ЦВК «Экспоцентр», Москва

### Тема Форума

Освещение общественных пространств

**NEW!** Специальная тренд-сессия

LED-технологии для освещения теплиц



messe frankfurt



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)

# Лаборатория «АРХИЛАЙТ»

Лаборатория исследований источников излучения «Архилайт» – это полностью независимое предприятие, предоставляющее услуги по измерениям параметров светотехнических устройств в целях их дальнейшей сертификации, изучению и исследованию характеристик полупроводниковых излучающих светодиодов и структур, формированию светотехнических проектов на основе собственных измерений. Уникальным является измеритель-

ное оборудование и опыт по изучению деградации параметров источников света. Одними из самых важных принципов работы учредители лаборатории считают максимальную компетентность, абсолютную объективность и полную гарантию конфиденциальности исследований. Основное измерительное оборудование лаборатории (установки «Флакс», «Спекорд» и др.) было разработано, изготовлено и исследовано при участии персонала специально для «Архилайт» и позволяет выполнять самые сложные измерения и расчёты фотометрических, колориметрических и энергетических характеристик излучения.

Не менее чем 15-летний опыт работы лаборатории в метрологии светотехнических устройств и про-

ведения исследований в области физики излучающих полупроводниковых гетероструктур, позволяет решать широкий круг задач по проектированию световых приборов, измерениям и исследованиям характеристик осветительных устройств и систем световой сигнализации, любых источников излучения.

Лаборатория «Архилайт» является аккредитованным испытательным центром в области испытаний светотехнических устройств, осветительных приборов и источников света в системе ГОСТ Р. Она аккредитована Федеральным Агентством по техническому регулированию и метрологии, Федеральной службой по аккредитации на компетентность и независимость и право проведения таких испытаний. Кроме того, лаборатория «Архилайт» является участником (аккредитована на компетент-



Гониометр установки «ФЛАКС»



Установка «ФЛАКС» в лаборатории

Фотометрическая трасса лаборатории





ность и независимость в качестве испытательного центра) добровольной системы сертификации промышленной светотехники «ВЦСПС СТАНДАРТ». Аттестаты аккредитации – РОСС RU.0001.21МЮ54, ЖУШО RU.AA15001.

Для оптимизации сроков и стоимости услуг по измерениям, для клиентов разработано более 10-ти комплексных стандартных программ, включающих разные наборы характеристик для различных целей исследований. Самая простая содержит несколько фотометрических параметров, одна из самых сложных – до пятидесяти фотометрических, колориметрических и электрических. Предусмотрена отдельная программа измерения радиометрических характеристик, измерения коэффициента пульсации светового потока, формирования файлов данных формата .ies, исследований на фотобиологическую безопасность, коэффициента мощности и электрических характеристик. Также имеются программы для исследования причин неисправности светодиодов и осветительных приборов на их основе, определения характеристик деградации параметров и прогнозирования срока службы, климатических испытаний светотехнической продукции, измерения параметров фотосинтетически активной радиации (ФАР) и формирования файлов данных для расчётов PPFД [мкмоль/(с·м<sup>2</sup>)], измерения параметров освещения улиц городов и объектов инфраструктуры, зданий и сооружений (с помощью передвижной лаборатории).

С целью расширения списка предоставляемых услуг по испытаниям продукции в целях сертификации, входящей в область аккредитации, введено в строй измерительное оборудование для испытаний по ГОСТ Р 51317.3.2–2006, ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

В конце 2014 г. в строй введён климатико-фотометрический комплекс для измерений большинства параметров и характеристик продукции, составляющих область аккредитации, в различных условиях окружающей среды при температурах минус 70 – плюс 150 °С и относительной влажности до 100%. Основу комплекса составляет камера тепла-холода-влажности, интегрированная в фотометрическую трассу установки «Флак-20». Комплекс позволяет проводить прикладные и научные исследования изменения фотометрических, электрических, спектральных и колориметрических характеристик излучателей (источников света, осветительных приборов) в зависимости от параметров (или их изменения) окружающей среды. Это особенно актуально при контроле качества и разработке таких изделий, как излучатели военного назначения, светосигнальные – для ЖД, предназначенные для работы в жёстких условиях (уличное, специальное освещение).

Лаборатория «АРХИЛАЙТ» постоянно совершенствует парк оборудования за счёт собственных разработок и опыта в нетривиальном решении задач по измерению па-



Образцовый светодиодный источник света

раметров различных источников излучения. Эта деятельность позволяет формировать соответствующие предложения на рынке измерительного фотометрического оборудования для производителей, поставщиков, разработчиков и потребителей источников света, осветительной аппаратуры. Базовыми единицами для указанных предложений являются гониофотометрические установки «Флак» различной комплектации. Разработки, применённые в них, защищены рядом патентов. Основные технические характеристики установок «Флак» следующие:

– диапазон измерений силы света, кд:







Основная идея этой части деятельности «АРХИЛАЙТ» направлена на метрологическое обеспечение производственных процессов, контроля качества светотехнической продукции, мини-лабораторий при КБ и проведения ОКР и НИОКР. Данная деятельность крайне актуальна в период активного импортозамещения в отечественной промышленности. В дополнение к указанному оборудованию, разработан образцовый источник излучения на основе светодиодов, который предназначен для калибровки измерительных систем с обязательным применением калиброванных источников (в сферическом интеграторе), проведения сравнений (сличений) различных метрологических комплексов.

За последние годы лаборатория приняла участие в различных межлабораторных сличениях, в том числе, совместно с ГУП РМ «НИИИС им. А.Н. Лодыгина» (2 этапа сличений по измерениям параметров УФ излучения), а также в международных сличениях по фотометрическим и колориметрическим характеристикам с участием ведущих лабораторий РФ и *Global Efficient Lighting Centre (GELC)*, инициированных ПРООН/ГЭФ.

Лаборатория «АРХИЛАЙТ» принимала и продолжает принимать участие в работе Программы развития ООН (ПРООН) в области энергосбережения и энергоэффективности источников света, состоит в рабочей группе Совета по качеству светотехнической продукции НП «Энергоэффективный город», Агентства Стратегических Инициатив и ПРООН/ГЭФ/Минэнерго России, рабочих группах по обсуждению и формированию нормативной документации и законодательных инициатив в Минтруда и Минэнерго РФ, Госдуме РФ.

С.Г. Никифоров, доктор техн. наук, лаборатория «Архилайт»



- для установки «Флакс-7»: от 0,01 до 10000;
- для установки «Флакс-20»: от 0,1 до 10 000 000;
- суммарная относительная погрешность измерения силы света составляет  $\pm 4,5\%$ ;
- суммарная относительная погрешность измерений силы излучения составляет:
- в спектральных диапазонах от 200 до 400 нм и свыше 1010 нм:  $\pm 7,0\%$ ;
- в спектральном диапазоне свыше 400 нм и до 1010 нм:  $\pm 6\%$ .

- Минимальный шаг угла поворота в обеих плоскостях гониометра составляет 0,02 град. (1,2 угловые минуты или 16400 точек силы света в 360 град.). Время измерения распределения силы света в 360 град. не превышает 3 секунды.

Необходимо отметить, что конструкция поворотной части гониометра позволяет без потери точности производить измерения любых самых сложных светотехнических устройств в системах координат C-у, В-β (по ГОСТ Р 54350–2015). Разработки, применённые в установках, защищены рядом патентов.

## Выставка «ИЗОБРЕТАТЕЛИ»

С 18 июля по 30 октября в Музее «Огни Москвы» проходит выставка «Изобретатели», на которой представлены научно-технические работы детей, имеющих особые потребности по зрению. Журналист Иосиф Эльшанский в одной из своих книг писал, что научиться изобретательству нельзя, но изобретателем можно стать. Для этого нужно, конечно, изучить историю науки и техники и самостоятельно повторить эксперименты великих изобретателей. Поэтому в рамках программы «Изобретатели» сотрудники музея «Огни Москвы» сначала провели серию научно-практических занятий и экскурсий для детей, а потом ребята совместно со студентами московских вузов пробовали повторить физические опыты. Многие ребята, имеющие особые потребности по зрению, мечтают изобрести прибор, с помощью которого слепые люди смогут различать цвета и их оттенки. Поэтому во время занятий много внимания уделялось изучению природы света и его свойств. На выставке «Изобретатели» можно узнать, как невидящие люди ощущают разные цвета. Например, «зелёный –

это цвет лета, чего-то нового. Это бутон, который хочет раскрыться».

Один из главных экспонатов выставки – электрогенератор, который совместно собирали старшеклассники из общеобразовательной школы-интерната для слепых обучающихся № 1 г. Москвы со студентами и преподавателями кафедры «Электроэнергетические системы» НИУ «МЭИ». Если запустить генератор, зажигается гирлянда, вокруг которой кружатся разноцветные бабочки. Ощущая свет, можно сделать мир ярче!

Программа «Изобретатели» – победитель Конкурса субсидий для социально-ориентированных НКО Комитета общественных связей города Москвы в 2015 году.

**Музей «Огни Москвы»**

101000, г. Москва, Армянский пер., д. 3–5, стр. 1,

тел.: (495) 624–73–74

E-mail: moscowlights@mail.ru

www.ognimos.ru





# ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ



Холдинг **BL GROUP**



## ПЛАТИНОВЫЕ



ГЛОБАЛ  
ЛАЙТИНГ

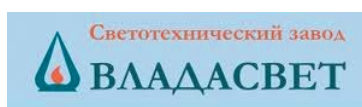
## ЗОЛОТЫЕ

**FAGERHULT**



**ZUMTOBEL**

## СЕРЕБРЯНЫЕ



## БРОНЗОВЫЕ



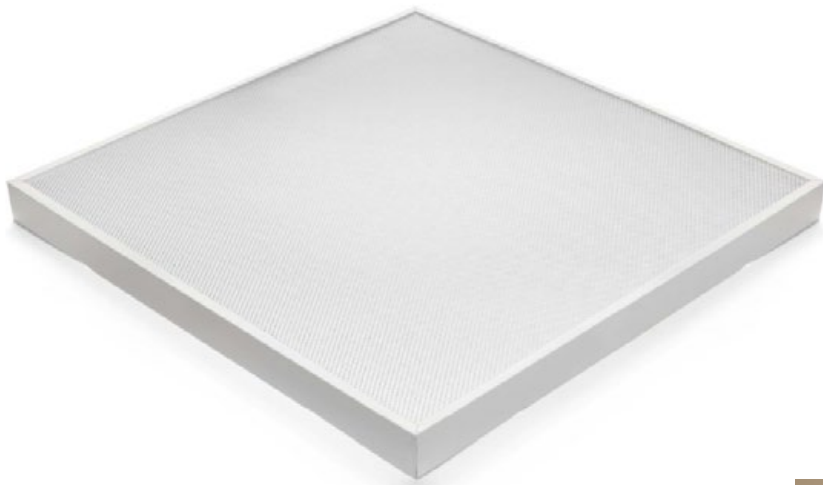
TENZOSENSOR





## СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК ЮНИОР

аналог ЛВО, ЛПО 4x18



### Освещение образовательных учреждений

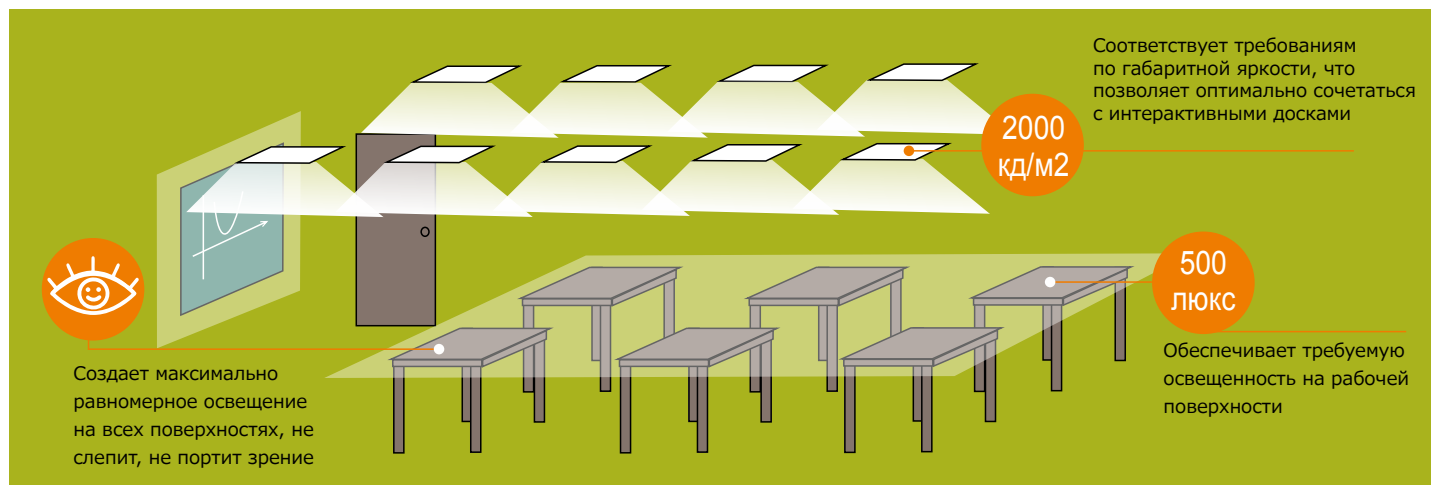
Школы, детские сады, ясли, высшие учебные заведения.

IP20 50 000 ч  
 LED 32 Вт

ГАРАНТИЯ 3

Напряжение: 220 (196-264) В  
 Частота: 50 Гц  
 Коэффициент мощности  $\geq 0,96$   
 Индекс цветопередачи: 80  
 Цветовая температура: 4000 К  
 Коэффициент пульсаций: не более 2%  
 Мощность светодиодов: менее 0,2 Вт

- ▶ Соответствует требованиям ГОСТ-Р-54350-2015, предъявляемым к светильникам для детских учреждений
- ▶ Соответствует требованиям письма Руководителя Роспотребнадзора Г.Г.Онищенко от 01.10.2012 № 01/11157-12-32 «Об организации санитарного надзора за использованием энергосберегающих источников света»
- ▶ Тип крепления: встраиваемый/потолочный
- ▶ Рассеиватель: микропризма-опал



### ТАБЛИЦА МОДИФИКАЦИЙ:

НАИМЕНОВАНИЕ	Артикул	НАЗНАЧЕНИЕ	МОЩНОСТЬ, Вт	СВЕТОВОЙ ПОТОК, ЛМ	ГАБАРИТЫ, мм -ДхШхВ
GALAD Юниор 600 LED-35/П/М/4000	1003835	освещение классов	32	3130	595x595x65
GALAD Юниор 1200 LED-35/П/М/4000	1003833	освещение коридоров	32	3100	1195x295x65

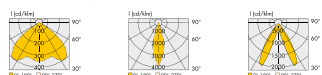


## ОПТИКА СВЕТОДИОДОВ – формирование идеального освещения

Конструкция оптики играет ключевую роль в области развития светодиодного освещения. Высокоточная оптика позволяет реализовать специфические требования, предъявляемые к светораспределению. Мы разрабатываем и производим разные виды светодиодной оптики: для магазинов, офисов, производственных помещений и уличного освещения. Вы можете выбрать оптику любой формы (круглая, квадратная, линейная). Данная оптика изготовлена из материалов (ПММА, силикон) высокого качества и доступна в любых количествах с разными углами излучения (узкий/широкий, асимметричный или их комбинация).

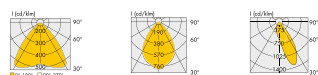
### LED Line SMD Kit 3R

- **ДОЛГИЙ СРОК СЛУЖБЫ:**  
50000 Ч (L80, V10)
- **ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА:**  
ДО 172 ЛМ/ВТ ПРИ ТР = 50 °С
- **ДЛИНА:** 280 ММ, 566 ММ
- **ГИБКОЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ, БЛАГОДАРЯ РАЗЛИЧНОЙ ОПТИКЕ**
- **МЕЖОСЕВЫЕ РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ СООТВЕТСТВУЮТ ZHAGA**



### LED Line SMD Kit

- **ДОЛГИЙ СРОК СЛУЖБЫ:**  
50 000 Ч (L80, V10)
- **ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА:**  
ДО 174 ЛМ/ВТ ПРИ ТР = 50 °С
- **ДВА КЛАССА МОЩНОСТИ**
- **ДЛИНА:** 280 ММ, 560 ММ
- **ГИБКОЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ, БЛАГОДАРЯ РАЗЛИЧНОЙ ОПТИКЕ**
- **МЕЖОСЕВЫЕ РАЗМЕРЫ ОТВЕРСТИЙ СООТВЕТСТВУЮТ ZHAGA**



### LED Line AluFix LUGA RX

- **НИЗКИЙ И ПРОЧНЫЙ**
- **ДОЛГИЙ СРОК СЛУЖБЫ:**  
55000 Ч (L80, V10)
- **ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА:**  
ДО 146 ЛМ/ВТ ПРИ ТР = 65 °С
- **ТОЧНОСТЬ ЦВЕТА: 3 ШАГА МАКАДАМА**
- **ДЛИНА: 305 ММ / 586 ММ / 867 ММ / 1148 ММ / 1429 ММ**

