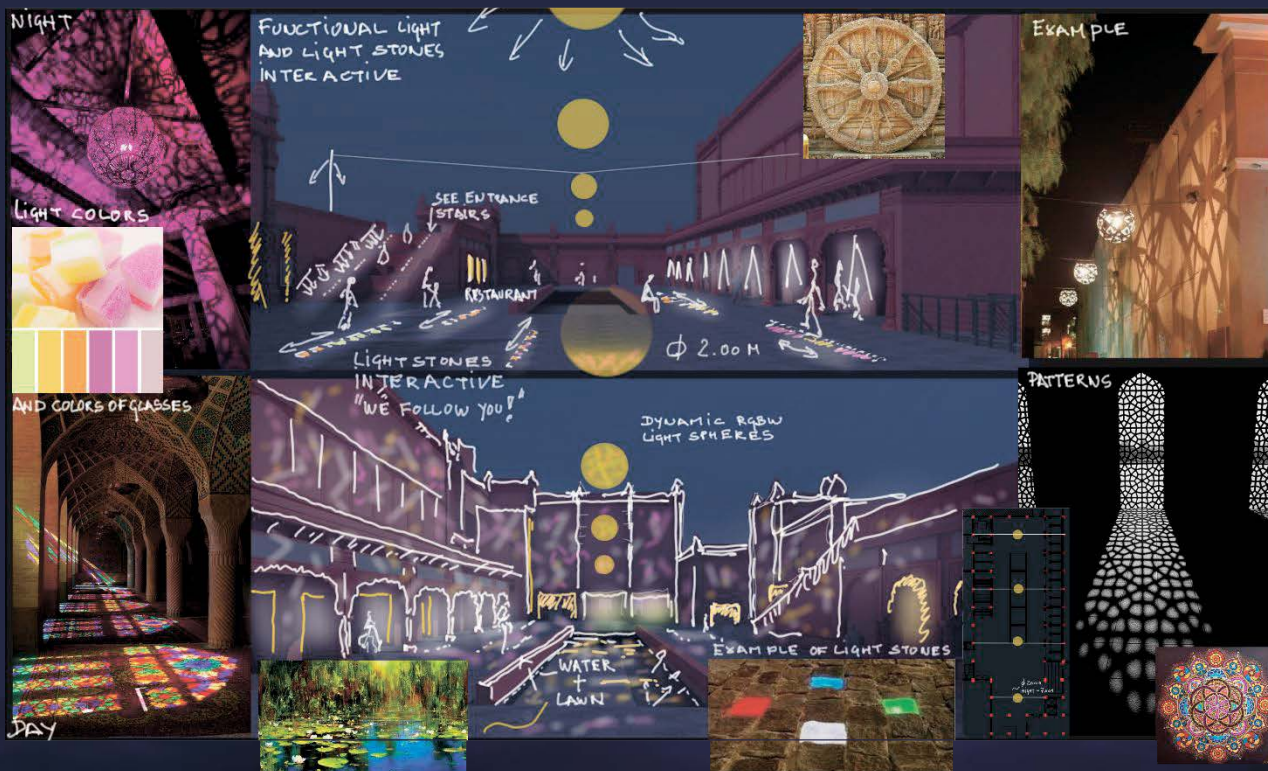


СВЕТО 4·2017 ТЕХНИКА





- проектируем с качеством мирового уровня
- найдем решение для любого бюджета



«LED LINE CSP TUNEABLE»

СВЕТ ВАШЕГО НАСТРОЕНИЯ



Динамическое освещение с гибким светораспределением

Правильное освещение рабочего места является ключевым фактором любой рабочей обстановки, будь то на заводе, в лаборатории или в офисе. Оптимальное освещение улучшает настроение сотрудников, влияет на их здоровье и обеспечивает работу без ошибок. Наши новые светодиодные модули серии «LED Line CSP Tuneable» с регулируемой цветовой температурой идеально подходят для создания оптимальных условий освещения.

Преимущества светодиодных модулей серии «LED Line CSP Tuneable»:

- Технология CSP (chip-scale packages – многослойная упаковка кристалла): меньше кристалл, больше угол излучения, равномерное распределение света;
- SMD модули выпускаются в двух версиях: W2 и W4;
- Два канала управления: плавное регулирование цветовой температуры от 2700 до 6000 K;
- Длительный срок службы: >60000 часов при $t_p=75^\circ\text{C}$ (L90/B10);
- Высокая светоотдача: до 134 лм/Вт при $t_p=50^\circ\text{C}$;
- SMD модули выпускаются двух размеров: 280 и 560 мм;
- Благодаря широкому ассортименту оптики от VS можно получать желаемый эффект освещения.

«LED Line CSP Tuneable»

- **ЕСЛИ ВЫ УЖЕ ИСПОЛЬЗУЕТЕ НАШИ СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ W2 И W4, ТО, БЛАГОДАРЯ АНАЛОГИЧНЫМ ГАБАРИТНЫМ УСТАНОВОЧНЫМ РАЗМЕРАМ, ВЫ МОЖЕТЕ ЛЕГКО ИХ ЗАМЕНИТЬ НА МОДУЛИ СЕРИИ «LED LINE CSP TUNEABLE» И ПРИМЕНЯТЬ УЖЕ СУЩЕСТВУЮЩУЮ VS-ОПТИКУ.**



УЧРЕДИТЕЛЬ:

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

Шеф-редактор
Ю.Б. Аизенберг, д.т.н., проф., академик
АЭН РФГлавный редактор
В.П. Будаков, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.comЗам. главного редактора и научный редактор
англоязычной версии
Р.И. Столяревская, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
В.Е. Бугров, д.ф.-м.н., проф., Университет ИТМО, С.-Петербург
Н.В. Быстрянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
О.Е. Железникова, к.т.н., Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва
А.А. Коробко, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва
Л.Г. Новаковский, к.т.н., Фарос-Алеф, 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. Шахпаруянц, 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

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ruСтарший научный редактор
Е.И. Розовский; lamptech@mail.ruНаучный редактор
С.Г. Ашурков; svetlo-nr@yandex.ruВыпускающий редактор
П.А. Федорищев; fedorishchev@gmail.comЗав. редакцией
Л.В. Шелатуркина; zav.red@list.ruМенеджер-референт
М.И. Титаренко; zav.red@list.ruАдминистратор сайта
Е.М. НовиковаСтилист английской версии
М.Д. ВиноградоваСекретарь редакции
А.В. Лукина; journal.svetotekhnika@mail.ruДизайнер-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 06.07.17

Подписано в печать 02.08.17

Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00

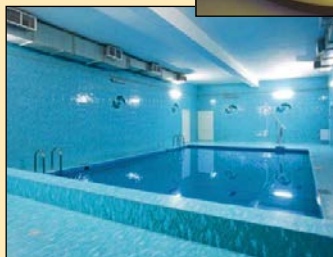
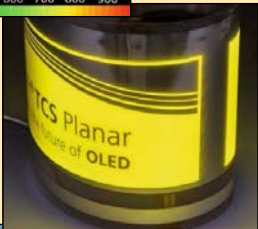
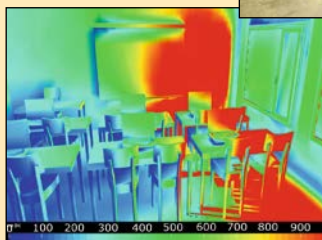
Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Агентство Море»
101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

СОДЕРЖАНИЕ

В НОМЕРЕ

- Бизнес и инновации** **23, 41, 46, 50, 59, 64, 67, 70**
- Столяревская Р.И., Розовский Е.И.** Современное состояние и перспективы развития фотометрии осветительных приборов **14**
- Берген Э.** Фотометрия осветительных приборов со светодиодами **4**
- Соколов А.Л., Акентьев А.С., Ненадович В.Д.** Космические ретрорефлекторные системы **19**
- Абрамочкин В.Н., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Кудрявцев А.Н., Тарасенков М.В., Федосов А.В.** Оптико-электронная связь в атмосфере на рассеянном лазерном излучении. Полевые эксперименты **24**
- Антипов Е.М., Корякин С.Л., Максимова Е.Ю., Павлов С.А., Шерстнева Н.Е.** Особенности формирования цветности излучения дисперсий квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в многокомпонентных системах **31**
- Камаль Ад-Дин А., Фарамарц М.** Простой способ увеличения зрительного комфорта в установках внутреннего освещения посредством уменьшения показателя дискомфорта блёкости **35**
- Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С.** Оборудование для испытаний управляющих устройств для светильников со светодиодами и ЭПРА для люминесцентных ламп **42**
- Гончаров И.Н., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И., Аскеров Р.О.** Исследование и повышение важнейших характеристик гибких световых панелей **47**
- Малик Р., Мазумдар С.** Осветительный прибор с регулируемой цветовой температурой с красными, синими и белыми СД **51**
- Лекус Е.Ю.** Пространство и время светового дизайна. Итоги Международной научно-практической конференции «Световой дизайн – 2016» **60**
- Авдоченко Б.И., Кирпиченко Ю.Р., Пустынский И.Н.** Мощный импульсный ИК прожектор **65**
- Колгушкина С.В., Прокопенко В.Т., Рослякова С.В.** Оценка яркости фонового свечения ночного неба на примере г. Санкт-Петербурга **68**



Матвеев Н.В., Пашкевич М.Л. Влияние драматургии светового сценария на эффективность сеанса аудио-визуальной стимуляции

71

РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС

Июньское заседание Бюро НТС «Светотехника»

13

ДИСКУССИИ

По первой редакции стандарта АПСС СТО. 69159079–01–2017 «Светильники светодиодные. Требования к техническим и эксплуатационным параметрам»

75

Опрос специалистов о применении светодиодов

77

ХРОНИКА

Ушёл из жизни Е.И. Мудрак

73

Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика»

81

Потапова Н.В. Сосед музея «Огни Москвы» – Юлиан Борисович Айзенберг

86

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Светодиодные модули *LED Line CSP Tuneable*

1

Контроллер Бриз-РВ

74

Роботизированная фотометрическая установка *Robogonio* компании «Opsira» для фотометрирования светильников при их испытаниях

1 с. обл.

Проект освещения *Sai Multi-Activity Park*

2 с. обл.

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

3 с. обл.

Световые решения для растениеводства от компании *Vossloh-Schwabe*

4 с. обл.

Современное состояние и перспективы развития фотометрии осветительных приборов

Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ¹, Е.И. РОЗОВСКИЙ²

¹ ООО «Редакция журнала «Светотехника», Москва

² ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова», Москва

¹E-mail: lights-nr@inbox.ru

Аннотация

Статья посвящена обзору материалов в части рекомендаций, методов и средств воспроизведения и передачи размеров единиц фотометрических, энергетических и фотонных величин. Рассмотрены способы воспроизведения единиц фотометрических величин и их прослеживание до основных единиц системы СИ, а также связь методов и средств передачи размеров единиц от первичных эталонов измерительным установкам испытательных центров и лабораторий и современные требования к методам и средствам испытаний осветительных приборов, используемых в системах освещения различного назначения.

Ключевые слова: оптическая радиометрия, фотометрия, колориметрия, спектрорадиометрический подход, детекторный подход, фотонные величины, гониофотометрия, фотояркоммер.

1. Введение

В последние десятилетия получили существенное развитие разработки в области создания источников света [1, 1а, 2, 2а], приёмников излучения [3, 4], измерительной техники и прецизионного приборостроения в целом [5–7]. Этот процесс идёт параллельно с развитием и внедрением квантовой технологии в метрологию [8], что обусловлено волновой природой света и лежит, практически, в основе определения канделы 1979 г.

Международный выбор в направлении квантовой технологии или фотоники требует совершенствования прослеживания и достоверности измерений не только для однофотонных, но и для мультифотонных процессов. И хотя последнее требование ещё в процессе исследований и разработки, эволюцию в воспроизведении канделы в направлении квантового подхода (например, кандела –

это сила света монохроматического источника излучения в данном направлении с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, силой излучения, равной $1/683$ Вт/ср и фотонной силой излучения, равной $(683 \cdot 540 \cdot 10^{12} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34})^{-1}$ фотон/(с · ср), можно считать своевременной, особенно с учётом того, что четыре единицы системы СИ (кг, моль, Кельвин и Ампер) переопределены в терминах физических констант с целью создания универсальной квантовой системы СИ на основе фундаментальных констант [9,10,11].

Подготовленный и официально одобренный Консультативным комитетом по фотометрии и радиометрии (ККФР) Международного комитета мер и весов (МКМВ) документ [12] является меморандумом «практического применения» в целях модернизации и расширения предыдущей версии этого документа, ограниченного реализацией канделы на основе её определения 1979 г., действующего по сей день. Фотометрия и используемые в оптической радиометрии единицы измерения тесно связаны друг с другом современным определением основной единицы системы СИ – канделы. Меморандум охватывает реализацию канделы, равно как и других единиц измерения фотометрических и радиометрических величин. Последние достижения в области генерации и использования отдельных фотонов открывают огромные возможности в части оценки потоков излучения количеством фотонов. Поэтому принятый документ дополнительно включает в себя информацию о практической реализации перехода от измерений фотометрических и радиометрических величин к измерению фотонных величин.

1.1. Фотометрия и радиометрия

Кандела – это основная единица для измерения фотометрической величины «сила света» в системе СИ. Опреде-

ление канделы в системе СИ устанавливает связь между фотометрическими и радиометрическими единицами. В 1979 г. на 16-ой Генеральной конференции по мерам и весам было принято следующее определение единицы силы света «кандела» [кд] [13]:

Кандела – это сила света, излучаемая в заданном направлении источником монохроматического излучения с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, сила излучения которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Отсюда следует, что при измерении в системе СИ относительная спектральная световая эффективность K_{cd} монохроматического излучения с частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 кд·ср/Вт или лм/Вт.

Это определение сформулировано с использованием только физических терминов и только для одной частоты электромагнитного излучения. Целью фотометрии является такое измерение параметров излучения в видимой области спектра, при котором результаты измерений связаны со зрительными ощущениями, вызванными у наблюдателя именно этим излучением. Большинство источников света имеют широкий спектр частот. Поэтому Международная комиссия по освещению (МКО) определила несколько весовых функций, которые называют функциями относительной спектральной световой эффективности и которые описывают относительную спектральную чувствительность или спектр реакции среднего глаза человека при определённых условиях наблюдения. Эти функции записываются как зависимости от длины волны в стандартном воздухе (сухой воздух при 15 °С и 101325 Па, содержащий $0,03$ объёмных% диоксида углерода), нормализованные относительно их максимумов. Определение канделы призвано связать эти функции, задав их значения на указанной частоте. Постоянная K_{cd} вместе с функцией относительной спектральной световой эффективности связывает фотометрические и радиометрические величины для формирования единой метрологической системы.

В 2007 г. МКМВ заключил соглашение с МКО, согласно которому эти две организации признали, что:

- МКМВ отвечает за определение фотометрических единиц в системе СИ;
- МКО отвечает за стандартизацию функций относительной спек-

ральной световой эффективности глаза человека.

В общем виде уравнение, связывающее заданное спектральное распределение радиометрической величины $X_{e,\lambda}(\lambda)$ с соответствующей ей фотометрической величиной $X_{v,x}$, имеет вид:

$$X_{v,x} = \frac{K_{cd}}{V_x(\lambda_a)} \int_{\lambda} X_{e,\lambda}(\lambda) V_x(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

где $\lambda_a = 555,017$ нм – длина волны в стандартном воздухе, которая соответствует частоте, приведённой в определении канделы, а нижний индекс «x» указывает на ту или иную функцию относительной спектральной световой эффективности МКО. Самой важной из этих связанных со зрением функций является относительная спектральная световая эффективность для адаптировавшегося к условиям дневного зрения глаза наблюдателя $V(\lambda)$, табулированная МКО с интервалом 1 нм для диапазона длин волн 350–830 нм. Недавно МКО стандартизировала функцию относительной спектральной световой эффективности для сумеречного зрения (*mesopic function*). Эта функция предназначена для использования при уровнях яркости, лежащих между уровнями яркости, соответствующими условиям дневного зрения, и уровнями яркости, соответствующими условиям ночного зрения (адаптации глаза в условиях ночного зрения), тем самым завершив стандартизацию связанных со зрением функций [14,15].

1.2. Фотометрия и фотонные величины

Фотонные величины – это характеристики оптического излучения, выраженные через известные количества фотонов или потоки фотонов. Из-за двойственной природы электромагнитного излучения, фотометрические и/или спектральные энергетические величины могут быть выражены через фотонные величины. Для длин волн в воздухе, связь между соответствующей заданной длине волны спектральной энергетической величиной $X_{e,\lambda}(\lambda)$ и соответствующей фотонной величиной $X_{p,\lambda}(\lambda)$ имеет вид:

$$X_{e,\lambda}(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} \cdot n(\lambda) \cdot X_{p,\lambda}(\lambda), \quad (2)$$

где h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме, $n(\lambda)$ – спектральный коэффициент преломления стандартного воздуха.

Совместив уравнения (1) и (2), получаем общее уравнение, связывающее фотометрическую величину $X_{v,x}$ и соответствующую ей фотонную величину $X_{p,\lambda}(\lambda)$:

$$X_{v,x} = K_{p,x} \int_{\lambda} X_{p,\lambda}(\lambda) \frac{n(\lambda) V_x(\lambda)}{\lambda} d\lambda, \quad (3)$$

где

$$K_{p,x} = \frac{K_{cd} hc}{V_x(\lambda_a)}, \quad (4)$$

а $K_{p,x}$ – коэффициент перевода фотонных величин в фотометрические для функции относительной спектральной световой эффективности $V_x(\lambda)$.

Фотонные величины особенно важны для характеристики осветительных приборов (ОП), работающих в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) [16,17]. Такой подход требует знания числа фотонов, которые могут взаимодействовать с молекулами вещества, способного его воспринять. За единицу фотонного потока в области ФАР принято число фотонов, равное числу Авогадро $N_A = 6,026 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ [18], так что поток фотонов Φ_{ph} на длине волны λ в спектральном диапазоне ФАР будет равен:

$$\begin{aligned} \Phi_{ph}(\lambda) &= \frac{N_{ph}}{N_A} = \\ &= \frac{\Phi_e(\lambda)\lambda}{hc N_A}, \quad [\text{мкмоль/с}], \end{aligned} \quad (5)$$

где число фотонов $N_{ph} = \Phi_e(\lambda) / E_{ph}(\lambda)$, т.е. равно отношению спектрального потока излучения $\Phi_e(\lambda)$ к энергии кванта соответствующей длины волны $E_{ph}(\lambda) = hc/\lambda$.

2. Воспроизведение канделы и производных единиц измерения радиометрических, фотометрических и фотонных величин

Так как определение канделы связывает фотометрические единицы измерения с радиометрическими, то практическая реализация фотометрических единиц почти всегда основана на практической реализации радиометрических единиц.

Обычно для реализации радиометрических единиц используются два основных метода. Это «детекторный» (*detector based*) и «основанный на источнике» (*source based*) подход, названные так в зависимости от того, что лежит в их основе: первичный эталонный приёмник или первичный эталонный источник излучения соответственно. Воспроизведение размеров единиц измерения фотонных величин, таких как поток фотонов (количество фотонов в секунду) или фотонная облучённость (количество фотонов в секунду на единицу площади) для низких уровней потоков излучения может быть осуществлено также при помощи радиометрических методов, основанных на приёмнике или источнике излучения и описывающих переход от радиометрических величин к фотонным. Однако, можно также использовать источники, которые генерируют отдельные фотоны, и в качестве основного метода реализации фотонных величин воспользоваться подсчётом фотонов. Это третий подход, который называется «фотонным» (*photon-based*). Ниже описаны наиболее распространённые в настоящее время подходы к измерению параметров оптического излучения.

Модель абсолютного радиометра, в которой реализован принцип электрического замещения (*Electrical Substitution Radiometer – ESR*), т.е. нагрев оптическим излучением сравнивают с нагревом замещающей излучение электрической мощностью. Этот хорошо известный метод в настоящее время наиболее часто реализуется с использованием приборов, охлаждённых до сверхнизких температур (<~20 К), при которых существенно уменьшается влияние многих источников погрешностей. Такие приборы называют «криогенными радиометрами» (*cryogenic radiometer*).

Фотодиоды с прогнозируемой квантовой эффективностью (*Predictable Quantum Efficient Photodiodes (PQED)*)

В основе метода лежит высокоэффективный полупроводниковый материал, имеющий малые потери в определённом спектральном диапазоне длин волн. Как правило, это кремниевый фотодиод, и использование точного метода преобразования фотонов в электроны и их регистрации прибором, позволяющие определить количество падающего оптического излу-

Рис. 1.
Государственный
первичный эталон
единицы силы света
и светового потока,
ВНИИОФИ, Москва



чения исходя из результатов измерения генерируемого фототока. Будучи изначально основанным на принципе «самокалибровки» отдельных фотодиодов, этот подход увеличил свою значимость после появления «приёмников-ловушек (trap detector)», обеспечивающих достижения близкого к единице квантового выхода благодаря созданию ловушек излучения, формирующих отражения от нескольких фотодиодов с электрически совмещёнными выходами, [3,4,19,20].

Абсолютный источник – это источник, характеристику оптического излучения которого можно рассчитать на основе результатов измерений других физических параметров, например термодинамической температуры. Оптическое излучение, генерируемое любым другим источником, можно измерить посредством прямого сравнения с таким абсолютным источником. Имеются два типа источников, которые при определённых условиях можно считать абсолютными:

- Модель излучателя Планка (модель чёрного тела) (рис. 1) – Для полости с высоким коэффициентом излучения (очень близким к единице) излучаемая спектральная энергетическая яркость может быть спрогнозирована при помощи закона излу-

чения Планка исходя из термодинамической (абсолютной) температуры полости. В этом случае прослеживаемость имеет место до единицы температуры СИ – кельвина. Для многих требующих высокой точности областей применения абсолютная температура полости определяется при помощи радиометрически калиброванного приёмника со светофильтром (который называют «радиометром со светофильтром» (*filter radiometer*)), и в этом случае прослеживаемость имеет место до электрических единиц СИ. Если энергетическая яркость этого источника постоянна во всех направлениях, то воспользовавшись прецизионной апертурой, помещённой перед излучателем Планка в определённом направлении на достаточно большом расстоянии, рассчитанное значение его спектральной энергетической яркости можно преобразовать в прогнозируемую спектральную силу излучения, спектральную облучённость на заданном расстоянии или спектральное распределение потока в определённом телесном угле [21,22].

- Кольцевой накопитель электронов, генерирующий синхротронное излучение (рис. 2) – Электроны, движущиеся с релятивистскими скоростями по круговым траекториям, ге-

нерируют синхротронное излучение. При определённых условиях этот источник может считаться абсолютным, и в этом случае мощность пучка синхротронного излучения, генерируемого одним электроном, движущимся по круговой траектории с частотой ν [Вт·рад⁻¹], может быть спрогнозирована при помощи уравнения Швингера на основе известных и измеренных значений электрических и геометрических параметров. Любое, вплоть до одного, количество электронов может быть накоплено без каких-либо изменений в форме спектра излучения. В этом случае прослеживаемость имеет место до электрических единиц и единиц длины СИ. Синхротронное излучение охватывает большой, вплоть до 12 порядков, диапазон потоков фотонов, что позволяет привести поток фотонов в соответствие с чувствительностью исследуемого приёмника [23,24].

Прослеживаемость при измерениях, основанных на воспроизведении фотонных величин, базируется на том, что определение канделы можно посредством фотометрических и радиометрических величин связать с фотонными величинами [8,25]. При этом отдельные фотоны можно генерировать при помощи, например, нелинейных материалов, а также оптических и электрических источников единичных фотонов, и подсчитывать (при помощи, например, фотоумножителей, однофотонных лавинно-пролётных диодов, сверхпроводящих нанопроволочных детекторов и датчиков фазового перехода).

Наиболее распространённый метод измерения фотометрических величин базируется на использовании образцового фотометрического приёмника, спектральная чувствительность которого точно соответствует нужной функции относительной спек-



Рис. 2. Источник синхротронного излучения BESSY II, PTB, Берлин [21]

тральной световой эффективности. Приёмник (фотометр, фотометрическая головка) имеет калиброванную по площади прецизионную диафрагму (прослеживаемость до единицы длины в системе СИ) и измеренную спектральную чувствительность (прослеживаемость до абсолютного радиометра [26]). Методом сравнения или прямыми измерениями фотометрическая единица перелаётся другим, имеющим эталонный статус, источникам света или фотометрическим головкам, которые становятся вторичными эталонными фотометрическими источниками (или приёмниками) для передачи размера соответствующей фотометрической величины. В этом случае прослеживаемость до СИ «основана на приёмнике», так что имеет место прослеживаемость до электрических единиц СИ. Этот метод обычно требует проведения дополнительных измерений спектральной чувствительности фотометра для определения качества спектральной коррекции приёмника под соответствующую функцию относительной спектральной световой эффективности МКО. Для определения качества коррекции фотометра необходимо знать относительную спектральную характеристику измеряемого источника света [27]. Если в процессе эксперимента измеряют фотонные величины, то их можно при помощи уравнения (3) преобразовать в соответствующие фотометрические величины.

Практически, все методы определения фотометрических, энергетических и фотонных параметров приводят к прослеживаемости до основных единиц системы СИ (рис. 3).

Более подробно существующие методы реализации фотометрических и радиометрических единиц измерения описаны в [8].

3. Оборудование испытательных лабораторий для оптических радиометрических измерений

Оснащение и метрологическое обеспечение аккредитованных испытательных лабораторий и центров в области оптической радиометрии является неотъемлемой частью современного энергоэффективного, экологичного, обеспечивающего высокое качество среды обитания освещения. Международное светотехническое сообщество уделяет большое внимание

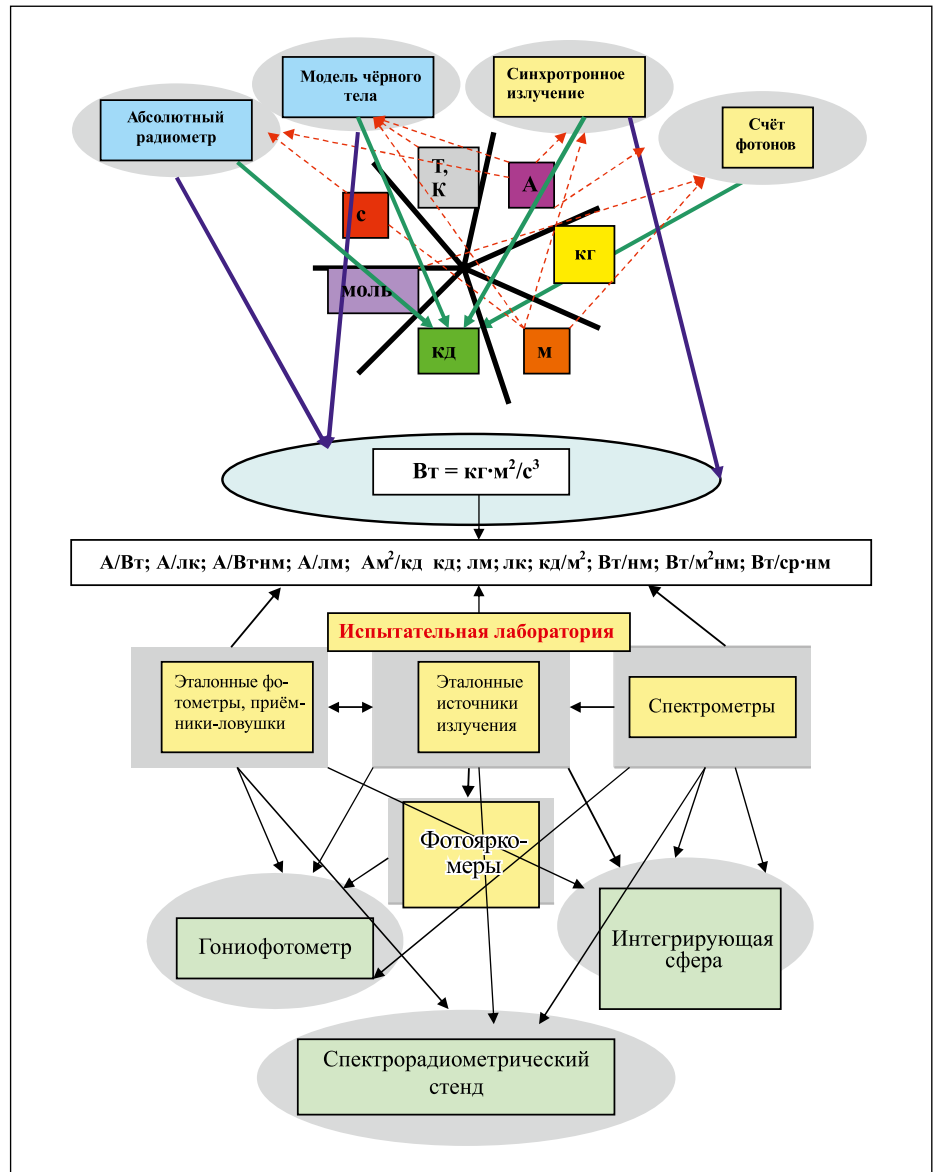


Рис. 3. Прослеживаемость к основным единицам системы СИ и передача размеров единиц от первичных и специальных эталонов оптической радиометрии некогерентного излучения измерительным комплексам испытательных лабораторий

единству измерений в части достоверной оценки параметров осветительной продукции.

С октября 2012 г. по август 2013 г. применительно к измерениям осветительных приборов со светодиодами группой международных экспертов были подготовлены и проведены в рамках специальной программы Международного энергетического агентства «IEA 4E SSL Annex» международные межлабораторные сличения IC2013, которые выявили определённые расхождения в результатах участников, обусловленные методиками измерений, используемым оборудованием и выбором критериев оценки неопределённости измерений [28, 29, 29а].

В настоящее время IEA 4E SSL Annex 2017 объявило о подготовке к новым международным сличениям испытательных лабораторий и центров в направлении гониофотометрических измерений на основе требований и методов нового стандарта МКО [30], прототипами которого являются: европейский документ EN13032-4, американский стандарт IESNA LM79, корейские стандарты KS C7653 и KS C7651 и другие международные и национальные материалы.

Новый стандарт МКО [30] предлагает следующие информационно-измерительные системы для тестирования характеристик ОП:

– комплексы с интегрирующей сферой: интегрирующая сфера с фотомет-

тром, интегрирующая сфера со спектро- радиометром;

– гониофотометрические комплексы: гониометр с фотометром (в том числе гониофотометры ближнего поля с создающими изображения фотометрами (фотояркомерами), гониометр со спектро- радиометром, гониометр с трехканальным колориметром;

– яркомеры (традиционные и фото- яркомеры);

– спектро- радиометрические установки с эталонными источниками излучения для измерения спектральных характеристик испытываемых ОП в заданных геометриях наблюдения.

Измерения устройств малых размеров, для которых не требуется определять распределение силы света (например, светодиодных ламп) проводят на комплексах с интегрирующей сферой. Измерения светильников, для которых обычно требуются данные о распределении силы света, проводят на гониофотометрических комплексах. Для определения спектральных и колориметрических характеристик применяют комплексы сфера- спектро- радиометр, гониометр- спектро- радиометр или гониометр- колориметр.

Комплекс гониометр- колориметр рекомендуется применять только для измерений относительных колориметрических характеристик. Спектро- радиометрический стенд используют для определения абсолютных спектральных характеристик источников света (ИС) и ОП и расчётов характеристик, измеренных в определённых геометриях (углах наблюдения), например, для определения параметра опасной синей яркости L_b [31, 32, 32a]. Все средства измерений, входящие в комплексы, должны быть поверены (калиброваны) с прослеживаемостью к единицам СИ.

3.1. Требования к интегральным фотометрам

Спектральные характеристики применяемых в установках фотометров, люксметров, фотометрических головок и яркомеров должны соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$, [36]. Суммарный коэффициент несоответствия коррекции f_1' (сфера фотометр, гониофотометр, люксметр) не должен превышать 3 % [27, 33, 34].

Если это требование выполняется, то коррекция спектрального несоответствия требуется только при измерениях тестируемых приборов (ТП) с цветными светодиодами. Невыполнение этого требования допускается, если коррекция спектрального несоответствия применяется при измерениях каждого ТП. В этом случае текущие значения f_1' заносят в протокол измерений. Если коррекция спектрального несоответствия не проводится, то следует оценить вклад этой погрешности в бюджет неопределённости. Если коррекция проводится, то всё равно следует учитывать вклад, связанный с качеством коррекции под $V(\lambda)$, в суммарный бюджет неопределённости [35].

При измерениях фотометрических характеристик в условиях ночного или сумеречного зрения рекомендуется использовать относительные спектральные световые эффективности отличные от $V(\lambda)$ [14, 15].

3.2. Интегрирующая сфера

Интегрирующая сфера должна быть оборудована вспомогательной лампой для измерения самопоглощения. Самопоглощение зависит от соотношения размеров ТП и сферы, формы и размеров ТП и эталонной лампы, а также отражающих характеристик ТП и покрытия сферы.

Когда ТП устанавливается в центре сферы (4 π -геометрия), площадь поверхности ТП должна составлять не более 2 % от площади внутренней поверхности сферы. Когда ТП устанавливается у отверстия сферы (2 π -геометрия), диаметр отверстия не должен превышать 1/3 диаметра сферы. Когда ТП устанавливается в центре сферы, его длинная ось должна совпадать с линией, проведённой между детектором фотометрической головки и центром сферы, чтобы минимизировать размеры экрана.

Внутреннее покрытие сферы должно быть диффузным, спектрально не- селективным и не имеющим флюоресценции. Для измерений рекомендуется использовать сферы с коэффициентом отражения покрытия не менее 90 %. Держатель источника света и вспомогательное оборудование внутри сферы должны иметь как можно меньшие размеры и покрытие с максимально возможным диффузным отражением. Для обес-

печения косинусной коррекции на входное отверстие фотометрической головки или спектро- радиометра устанавливают диффузную насадку или вспомогательную сферу. Косинусная погрешность должна быть не более 15 %. Воспроизводимость измерений при закрывании и открывании сферы должна быть в пределах $\pm 0,5$ %. Допустимое изменение чувствительности сферы между калибровками должно быть не более 0,5 %.

Калибровка интегрирующей сферы выполняется с помощью эталонной лампы светового потока, имеющей, желательно, сходное с ТП пространственное распределение силы света. Различие в распределении силы света должно учитываться в бюджете неопределённости.

3.2.1. Комплекс сфера- спектро- радиометр

Комплекс сфера- спектро- радиометр следует калибровать с помощью эталона спектрального распределения полного потока излучения, имеющего прослеживаемость к единице СИ. В случае отсутствия такого эталона калибровка может быть выполнена с помощью эталонной лампы спектральной плотности облучённости и эталонной лампы полного светового потока, имеющих прослеживаемость к единице СИ. В этом случае использованный метод и связанные с ним параметры (например, угловая однородность спектрального распределения или коррелированной цветовой температуры эталонной лампы) должны быть записаны в протокол измерений. Обязательным условием является совместная калибровка комплекса сферы вместе со спектро- радиометром. Спектро- радиометр, используемый в комплексе сфера- спектро- радиометр, должен удовлетворять следующим требованиям:

– диапазон длин волн от 380 до 780 нм;

– неопределённость установки длины волны спектро- радиометром не должна превышать 0,5 нм при $k = 2$;

– спектральная ширина щели и шаг сканирования не должны превышать 5 нм.

Спектро- радиометр должен иметь линейный отклик на входящее излучение на каждой длине волны видимого диапазона. Влияние нелинейности и внутреннее рассеяние света

должны учитываться в бюджете неопределённостей.

Вспомогательная лампа для измерения самопоглощения должна иметь спектр излучения в видимом диапазоне длин волн.

3.2.2. Комплекс сфера-фотометр

Комплекс сфера-фотометр следует калибровать с помощью эталона полного светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ [37]. Эталонная лампа и ТП должны иметь похожие спектральные распределения излучения.

Комплекс сфера-фотометр должен иметь относительное спектральное распределение, соответствующее функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ (см. также требования по п. 3.1.). При необходимости коррекции спектрального несоответствия, поправочный коэффициент (относительная активничность) вычисляют на основе данных об относительном спектральном распределении ТП и относительной спектральной чувствительности комплекса, т.е. с учётом относительной спектральной характеристики фотометрической головки и вклада относительного спектрального распределения функции сферы $\rho(\lambda)/(1-\rho(\lambda))$, где $\rho(\lambda)$ – спектральный коэффициент отражения материала внутренней поверхности сферы [38].

Рекомендуется, чтобы вспомогательная лампа для измерения самопоглощения имела спектр излучения, сходный со спектром ТП, особенно при измерениях одноцветных модулей.

3.3. Гониофотометры

Гониофотометр должен иметь угловой диапазон сканирования, соответствующий полному телесному углу, в котором ТП излучает свет. Это особенно важно для измерений полного светового потока.

Угловая юстировка ТП должна быть проведена с точностью $\pm 0,5^\circ$ от заданного направления. Угловой дисплей должен иметь разрешение не хуже $0,1^\circ$.

При измерениях пространственного распределения силы света источник излучения считается точечным. Силу

света получают из измеренной освещённости согласно закону обратных квадратов.

Для гониофотометров дальнего поля измерения проводят на следующих расстояниях:

– для ТП, имеющего близкое к косинусному (ламбертовскому) распределение (угол излучения $\geq 90^\circ$) во всех C -плоскостях: $\geq 5d$;

– для ТП, имеющего широкое угловое распределение, отличное от косинусного (угол излучения $\geq 60^\circ$) в некоторых C -плоскостях: $\geq 10d$;

– для ТП, имеющего узкое угловое распределение, высокий градиент распределения силы света, когда необходимо контролировать уровень сигнала фотометров (спектрорадиометров) от бликов отражённого света: $\geq 15d$;

– для ТП, имеющего большие неосвещённые области между светящимися поверхностями: $\geq 15(d+s)$, где d – максимальный размер излучающей поверхности ТП, а s – наибольшее расстояние между двумя соседними светящимися поверхностями.

Для гониофотометров ближнего поля расстояние не нормируется.

Полный световой поток получают интегрированием распределения освещённости, поэтому при измерениях не обязательно использование гониофотометров дальнего поля.

Гониофотометры, имеющие мёртвую зону более $0,1$ ср, могут использоваться для измерения полного светового потока только при условии проведения процедур коррекции.

3.3.1 Комплекс гониофотометр-фотометрическая головка

Относительное спектральное распределение фотометрической головки должно соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$. При необходимости проводят коррекцию спектрального несоответствия по известным значениям относительного спектрального распределения излучения ТП и относительной спектральной чувствительности фотометрической головки. Коэффициент коррекции спектрального несоответствия определяют в соответствии со стандартом МКО [34].

Гониофотометр следует калибровать с помощью эталона силы света или эталона освещённости, имею-

щих прослеживаемость к единице СИ [37]. Если измеряется полный световой поток, то калибровку проводят с помощью эталона полного светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ. При этом мёртвая угловая зона гониофотометра не должна влиять на результаты измерения стандартной лампы полного светового потока.

3.3.2 Комплекс гониофотометр-спектрорадиометр

Комплекс гониофотометр-спектрорадиометр следует калибровать с помощью эталона спектральной плотности силы излучения или эталона спектральной плотности энергетической освещённости, имеющих прослеживаемость к единице СИ [39].

При использовании комплекса для измерений полного светового потока или полного спектрального светового потока следует проводить калибровку с помощью эталона полного спектрального светового потока, имеющего прослеживаемость к единице СИ. Мёртвая угловая зона комплекса не должна влиять на результаты измерения стандартной лампы полного спектрального светового потока.

Спектрорадиометр, используемый в комплексе гониофотометр-спектрорадиометр, должен удовлетворять следующим требованиям: диапазон длин волн от 380 до 780 нм; неопределённость определения длины волны спектрорадиометром не должна превышать $0,5$ нм при $k = 2$; спектральная ширина щели и шаг сканирования не должны превышать 5 нм. Спектрорадиометр должен иметь линейный отклик на входящее излучение на каждой длине волны видимого диапазона. Нелинейность и внутреннее рассеяние света должны учитываться в бюджете неопределённостей.

3.3.3 Комплекс гониофотометр-колориметр

Комплекс гониофотометр-колориметр должен включать в себя трехканальные колориметрические головки для измерения координат цвета X , Y , Z , которые должны иметь спектральную чувствительность, соответствующую цветовым функциям стандартов МКО. Канал Y должен также удовлетворять требованиям к комплексу гони-

офотометр-фотометрическая головка (п. 3.3.1).

Если эти условия не выполняются, то комплекс может быть использован только для измерения цветовых различий.

3.4. Яркометры

Для измерений могут применяться как традиционные яркометры, измеряющие яркость точек, так и фотояркометры, формирующие изображение распределения яркости поверхности. Яркометры калибруют с помощью эталона яркости, имеющего прослеживаемость к единице СИ [37].

Относительное спектральное распределение яркометра должно соответствовать функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(\lambda)$ [36].

При необходимости проводят коррекцию спектрального несоответствия по известным значениям относительного спектрального распределения излучения ТП и относительной спектральной чувствительности фотометра. Коэффициент коррекции спектрального несоответствия функции $V(\lambda)$ определяют в соответствии с формулами, приведёнными в [34, 40]. При измерениях фотояркометром неопределённость измерений может быть оценена сравнением с результатами измерения распределения яркости типичного светодиодного устройства с помощью традиционного яркометра.

3.4.1. Фотояркометры [41, 41а, 42]

Основным назначением цифровых формирующих изображение яркометров или фотояркометров (*imaging luminance measurement device*) является измерение проекции пространственного распределения яркости протяжённых источников и освещённых поверхностей.

Фотояркометр – это прибор, состоящий из датчика изображения (например, матрицы приборов с зарядовой связью), фотометрического корригирующего светофильтра, объектива, электронных компонентов (аналого-цифровой преобразователь, схема выборки и хранения, встроенный программный продукт обработки информации и дисплей). Приборы различаются типами калибровки.

Фотояркометр типа I: Только с яркостной калибровкой. Каждый из пикселей (i, j) яркостного изображения

$L(i, j)$ содержит только информацию о яркости, наблюдаемой в пределах сцены. Геометрическая информация для оценки изображения либо не нужна, либо не требуется.

Фотояркометр типа II: Каждый из пикселей (i, j) яркостного изображения $L(i, j)$ содержит как значение яркости сцены, так и сопутствующую информацию о направлении $\vartheta_c(i, j)/\varphi_c(i, j)$ и местоположении $x_s(i, j)/y_s(i, j)$ и о видимых телесных углах $\Delta\Omega_{Pixel}(i, j)$. Для фотояркометров этого типа необходима как фотометрическая, так и геометрическая калибровка.

Свойства классических яркометров описаны в [34]. В случае фотояркометров следует учитывать некоторые дополнительные особенности:

- Измерения и оценки обычно производятся при помощи компьютерных программ. Перевод физического сигнала (собранных фотографий) в значения яркости может оказаться сложным, и иногда для этого используются алгоритмы обработки и сжатия изображения (например, для уменьшения объёма данных).

- Фотояркометры имеют большое количество (более или менее) независимых приёмников, которые называют пикселями. Если рассматривать систему как совокупность отдельных приёмников, то каждый из приёмников должен иметь свои собственные характеристики. Однако на практике эти пиксели совмещают (механическими средствами или математически), чтобы сформировать несколько зон измерения (зон оценки).

- Некоторые из имеющихся в продаже фотояркометров допускают лёгкую замену оптической системы (изменение фокусного расстояния, апертуры, объективов и нейтральных светофильтров). В общем случае, служащие для описания фотояркометра параметры относятся только к определённой конфигурации (фиксированное фокусное расстояние, неизменные апертуры), которую следует указывать вместе с показателями качества.

- Яркостное изображение представляет собой совокупность значений яркости $Y(i, j)$, измеряемых входящим в состав фотояркометра датчиком изображения с $(N \cdot M)$ чувствительными элементами (пикселями).

- Фотояркометры следует калибровать при помощи эталонов яркости с использованием однородной светящейся ламбертовской поверхности,

размер которой существенно превышает входящее в зону оценки поле объекта. Используемый для проведения калибровки эталон яркости калибруется, как промежуточный эталон, при помощи калиброванного яркометра методом замещения (приёмник калибрует приёмник) или фотометрической головки в режиме освещённости с дополнительной прецизионной диафрагмой на светящейся поверхности эталона яркости.

- Фотояркометры также можно калибровать с использованием источника с известным спектральным распределением энергии излучения, существенно отличающимся от излучения чёрного тела (например, для цветных СД). В этом случае спектральная чувствительность средства измерения должна существенно отличаться от нуля во всём используемом спектральном диапазоне, что позволит определить коэффициент коррекции спектрального несоответствия.

- На основе результатов спектрорадиометрических измерений можно рассчитать и поправочные множители. Для этого необходимы спектральные эталоны энергетической яркости. На основе данных о калибровке этих эталонов следует рассчитать (интегральные) фотометрические величины в соответствии с их определениями. При этом следует принимать во внимание корреляцию между спектральными характеристиками этих эталонов, так как она вносит существенный вклад в неопределённость измерений.

- При расчёте неопределённости измерений следует принимать во внимание распределение силы света эталона яркости, особенно в случае больших углов поля измерения фотометра, или если метод замещения реализуется с использованием различных углов полей измерения промежуточного эталона и калибруемого яркометра.

- Фотояркометры следует регулярно калибровать через рекомендуемые производителем промежутки времени или если есть подозрения, что характеристики прибора изменились.

3.5. Гониофотометр ближнего поля [43]

Концепция фундаментальной феноменологической фотометрии базируется на величинах **светового потока Φ , силы света $I = d\Phi/dw$, освещённости $E = d\Phi/dA$** применительно

к условиям выполнения (в заданном приближении) закона обратных квадратов, т.е. условиям, в которых приёмник и источник излучения можно считать точечными. В реалиях мы имеем дело с протяжёнными ИС и ОП, измерение фотометрических характеристик которых требует больших расстояний. В то же время, фундаментальная фотометрия оперирует таким понятием, как *яркость* $L = d\Phi / d\omega dA \cos\theta$. Яркость является характеристикой светящейся физической поверхности и не зависит от расстояния. Теория светового поля, предложенная А.А. Гершуном в начале 30-х годов прошлого столетия, и разработанный им телецентрический метод измерения силы света позволили интерпретировать понятие яркость, приписав ему бесконечно малый пространственный угол, эквивалентный геометрическому лучу.

Таким образом, элементарный конус $d\omega$ может рассматриваться как бесконечно тонкий луч с дифференциальным сечением $dA \cos\theta$. Яркость L связана с силой света следующим соотношением: $L = dI / dA \cos\theta$, где область дифференцирования окружает точечный источник света. Аналогичным образом можно выразить яркость через освещённость: $L = dE / d\omega \cos\theta$, тогда выражение для освещённости E примет вид: $E = \int_{\omega} L \cos\theta d\omega$. Последнее выражение полезно тем, что позволяет рассчитать освещённость в точке поверхности, создаваемую протяжённым источником, если известно распределение яркости этого источника.

В природе существуют физические ИС, которые не имеют определённой светящейся поверхности, т.к. они объёмны, например, плазма, распространяющая свет из объёма. Другим примером может служить свет

неба, связанный с рассеянием солнечного излучения в атмосфере.

Применительно к объёмным источникам излучения можно говорить о яркости реальной или яркости образа (имиджа). Другими словами, можно определить яркость в данной точке пространства и в заданном направлении как световой поток, отнесённый к единице площади в данном направлении в единичном пространственном угле. Таким образом, рассматривается не светящаяся поверхность: речь идёт о световом поле вокруг наблюдателя (реального или виртуального), и используется фундаментальное представление яркости как геометрического пучка лучей для комплексного описания пространственного распределения яркости протяжённого ИС.

Теория поля Гершуна нашла своё широкое применение именно сегодня, когда трёхмерная компьютерная графика при соответствующем программном обеспечении позволяет рассчитывать освещённость в любой точке любой поверхности в трёхмерном пространстве, если известна яркость всех лучей, проходящих через эту точку [44].

Практическое применение теории Гершуна реализовано в методике определения яркости воображаемой поверхности вокруг протяжённого источника света с помощью так называемого гониофотометра ближнего поля (рис. 4), включающего в себя гониометр и фотометр – яркомер, последовательно измеряющий яркость до 250000 геометрических лучей (пространственных конусов) в любой точке пространства. Яркомер устанавливается на перемещающемся плече, которое вращается вокруг ОП в вертикальной плоскости. Сам ОП может вращаться в горизонтальной плоско-



Рис. 4. Гониофотометр ближнего поля типа RIGO 801 (ВНИСИ им. С.И. Вавилова)

сти. Видеокамера на приборах с зарядовой связью с коррекцией под относительную спектральную световую эффективность и набором линз используется в качестве яркомера. Соответствующим подбором линза камера фокусируется на светящееся тело ОП. Каждый чувствительный элемент матрицы измеряет яркость пирамидального объёма в заданном направлении. Таким образом, в состав гониофотометра ближнего поля входит фотояркомер.

3.6. Спектрорадиометрический измерительный комплекс

Спектрорадиометрический измерительный комплекс может базироваться на оптическом стенде, выполненном, например, с применением оптической скамьи типа ОСК 2. Спектрорадиометр, применяемый в измерительной системе, может быть на основе матрицы приборов с зарядовой связью на выходе минидиспергирующей схемы или сканирующий, с двойным монохроматором. В любом случае, спектрорадиометр играет роль компаратора в схеме сравнения спектрального распределения эталонного источника излучения и тестируемого прибора. Использование миниспектрометра позволяет реализовать экспресс методики, но уступает в точности измерений. Сканирующий спектрометр используется в задачах прецизионных абсолютных измерений спектрального распределения облучённости,

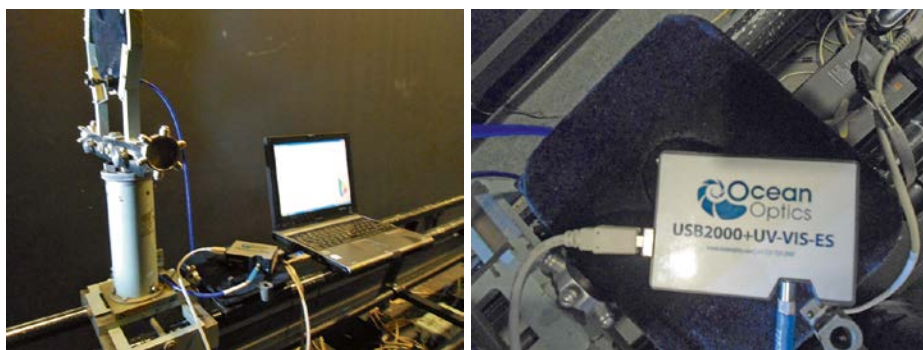


Рис. 5. Элементы спектрорадиометрического стенда с миниспектрометром (ВНИСИ им. С.И. Вавилова): слева – диффузная насадка оптического волокна на входе миниспектрометра, справа – миниспектрометр

энергетической яркости, силы излучения или потока излучения. Для сравнения с эталоном каждой из перечисленных выше величин необходимо дополнительное оборудование в виде специальных оптических систем проектирования изображения или режима освещения входной щели или входа в волоконно-оптический тракт миниспектрометра с ПЗС-матрицей на выходе (рис. 5). Единицы измерения прослеживаются до излучателя Планка, т.е. до термодинамической температуры T , К.

Продолжение статьи будет опубликовано в одном из ближайших номеров журнала «Светотехника».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gerloff, T., Lindemann, M., Shirokov, S., Taddeo, M., Pendsa, S., Sperling, A. Development of a New High-Power LED Transfer Standard // *Light & Engineering*. – 2013. – No. 2. – P. 41–46.

1а. Герлофф Т., Линдемманн М., Пендза Ш., Шперлинг А., Таддео М., Широков С. Разработка нового мощного светодиодного эталона сравнения // *Светотехника*. – 1913. – № 4. – С. 47–50.

2. Agafonov D.R., Sapritsky V.I., Stolyarevskaya R.I., Tolstikh G.N. Luminous Intensity LED Working Gage // *Light & Engineering*. – 2000. – Vol. 8, No. 2. – P. 74–80.

2а. Агафонов Д.Р., Саприцкий В.И., Столяревская Р.И., Толстых Г.Н. Рабочий эталон силы света на основе светодиодов // *Светотехника*. – 2000. – № 3. – С. 9–12.

3. Sildoja, M. et al. Predictable Quantum Efficient Detector I. Photodiodes and predicted responsivity // *Metrologia*. – 2013. – Vol. 50. – P. 385–394.

4. Muller I. et al. Predictable Quantum Efficient Detector II. Characterization Results // *Metrologia*. – 2013. – Vol. 50. – P. 395–401.

5. Krueger, U. 2001. Technological aspect of the spectral correction adjustment of space-resolved radiation detectors // *Light & Engineering*. – 2001. – Vol. 9, No. 3. – P. 61–71.

5а. Крюгер У. Спектральная корректировка матричных приёмников излучения // *Светотехника*. – 2001. – № 4. – С. 16–20.

6. Weißhaar J.P. Next Generation Goniophotometry // *Light & Engineering*. – 2015. – Vol. 23, No. 4. – P. 75–80.

6а. Вайсхаар Ю.П. Гониофотометрия следующего поколения // *Светотехника*. – 2015. – № 5. – С. 23–27.

7. URL: <http://www.instrumentsystems.com>. (дата обращения 24.01.2017).

8. Zwinkels, J.C., Ikonen, E., Fox, N.P., Ulm, G., Rastello, M.L. Photometry, radiometry and «the candela»: evolution in the classical and quantum world // *Metrologia*. – 2010. – Vol. 47, No. 5. – P. 15–32.

9. Petsky, B.W. The Atomic Units, the Kilogram and the Other Proposed Changes to the SI // *Metrologia*, 2007, V44, #1, pp.69–72.

10. Mills, I. M., Mohr, P.J., Quinn, T.J., Taylor, B. N., Williams, E.R.

Redefinition of the Kilogram, Ampere, Kelvin and Mole: A Proposed Approach to Implementing CIPM Recommendation 1 (CI-2005) // *Metrologia*. – 2006. – Vol. 43, No. 3. – P. 227–246.

11. Mills, I.M., Mohr, P.J., Quinn, T.J., Taylor, B.N., Williams, E.R. Redefinition of the Kilogram: A Decision Whose Time Has Come // *Metrologia*. – 2005. – Vol. 42, No. 2. – P. 71–80.

12. BIPM SI Brochure, Appendix 2. «*Mise en pratique* for the definition of the candela and associated derived units for photometric and radiometric quantities in the International System of Units (SI)», CCPR (BIPM), 2015.

13. BIPM SI Brochure: The International System of Units (SI), 8th edition, 2006; updated in 2014, Bureau International des Poids et Mesures, F-92310 Sevres, France.

14. CIE TN004:2016 The Use of Terms and Units in Photometry – Implementation of the CIE System for Mesopic Photometry.

15. CIE TN «Interim Recommendation for Practical Application of the CIE System for Mesopic Photometry in Outdoor Lighting». Enquiry Draft, 2017.

16. Кузьмин В.Н., Николаев С.Е. Методы и приборы для оперативной оценки энергоэффективности оптического излучения в условиях светокультуры // *Светотехника*. – 2016. – № 4. – С. 41–43.

17. Kuzmin, V.N., Nikolaev, S.E. Methods and Devices for Quick Evaluation of Optical Radiation Energy Efficiency // *Light & Engineering*. – 2016. – No. 4. – P. 103–104.

18. Кхан Т.К., Шпентьес Н., Эльце Т. Предложения по оценке излучения, физиологически активного для растений // *Светотехника*. – 2003. – № 1. – С. 40–41.

19. Fox, N.P. Radiometry with cryogenic radiometers and semiconductor photodiodes // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 535–544.

20. Gardner, J.L. A Four-element Transmission Trap Detector // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6 – P. 411–418.

21. Sapritsky, V.I. Black-body Radiometry // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 411–418.

22. Sapritsky, V.I., Stolyarevskaya, R.I. Realization of the Lumen on the Basis of a Large-aperture High Temperature Black Body // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 455–458.

23. Klein, R. Validation of the Probability Density Function for the Calculated Radiant Power of Synchrotron Radiation According to the Schwinger Formalism // *Metrologia*. – 2016. – Vol. 53, No. 3. – P. 927–932.

24. Аневский С.И., Золотаревский Ю.М., Крутиков В.Н., Минаева О.А., Минаев Р.В., Сенин Д.С. Развитие методов воспроизведения и передачи единиц спектрорадиометрии с использованием синхротронного излучения // *Измерительная техника*. – 2015. – № 3. – С. 31–33.

25. Castelletto, S., Godone, A., Novero, C., Rastello, M.L. Biphoton Fields for Quantum-ef-

ficiency Measurements // *Metrologia*. – 1995. – Vol. 32, No. 6. – P. 501–504.

26. Гаврилов В.Р., Дунаев А.Ю., Морозова С.П., Отрясов Д.А., Саприцкий В.И., Хлевной Б.Б. Государственный первичный эталон абсолютной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,00 мкм // *Измерительная техника*, 2015, № 11, тр. 15–17.

27. CIE210: 2014 Photometry Using $V(\lambda)$ -corrected Detectors as Reference and Transfer Standards.

28. «Solid State Lighting Annex 2013 Interlaboratory Comparison Final Report». 10.09.2014 // http://ssl.ica-4.e.org/files/otherfiles/0000/0067/IC2013_Final_Report_final_10.09.2014_a.pdf.

29. Bartsev, A.A., Belyaev, R.I., Stolyarevskaya, R.I. International Interlaboratory Comparison IC2013 Experience and Participation Results of the VNISI Testing Centre // *Light & Engineering*. – 2015. – Vol. 23, No. 3. – P. 55–64.

29а. А.А. Барцев, Р.И. Беляев, Р.И., Столяревская. Международные межлабораторные сличения-2013 (IC2013). Опыт и результаты участия ИЦ ВНИСИ // *Светотехника*. – 2015. – № 5. – С. 35–41.

30. CIE S025/E:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.

31. CIE S009 / E:2002 / IEC62471:2006 Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems.

32. Bartsev, A.A., Belyaev, R.I., Stolyarevskaya, R.I. Methodology of LED Luminaire BLH Radiance Measurements // *Light & Engineering*, 2013, #1, pp.53–59.

32а. Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И. Метод измерения физиологически эффективной яркости опасного синего излучения осветительных приборов // *Светотехника*. – 2013. – № 2. – С. 25–29.

33. CIE202:2011 Spectral Responsivity Measurement of Detectors, Radiometers, and Photometers.

34. ISO/CIE19476:2011(E) Characterisation of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters.

35. CIE198:2011 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry.

36. ГОСТ Р 8.332–78 ГСИ, Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.

37. ГОСТ Р 8.023 ГСИ, Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсного излучений.

38. IESNA LM-78, 2007. «IESNA Approved Method for Total Luminous Flux Measurement of Lamps Using an Integrating Sphere Photometer».

39. ГОСТ Р 8–195 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещённости в диапазоне длин волн от 0,25 до 25,00 мкм; силы излучения и энергетической освещённости в диапазоне длин волн от 0,2 до 25,0 мкм.

40. ГОСТ Р 8.850 ГСИ Характеристики люксметров и яркометров, 2013.

41. Krüger, U., Ruggaber, B., Schmidt, F. Spectral Properties of Imaging Luminance Measuring Devices Considering the Angular Dependence of the Spectral Transmission of Filters // Light & Engineering. – 2012. – No. 2. – P. 72–77.

41a. У. Крюгер, Б. Руггабер, Ф. Шмидт. Спектральные характеристики яркометров на ПЗС с учётом спектральных коэффициентов пропускания светофильтров // Светотехника. – 2012. – № 1. – С. 46–50.

42. CIE Draft 2.55, NC2–59, WD03: Characterization of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMDS).

43. CIE, TC2–62: Imaging-Photometer-Based Near-Field Goniophotometry, 2009, Draft WD00.

44. Будак В.П., Смирнов П.А. Луч Света в Теории Светового Поля. Математическое Моделирование Световых Полей. М.: Издательство МЭИ, 2016.

45. ISO/IEC GUIDE98–4.

46. CIE121–1996. The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.

47. CIE13.3.:1995. Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources.

48. CIE15:2004. Colorimetry, 3rd Edition.

49. CIE TN001:2014.

50. CIE198:2011. Determination of Measurement Uncertainties in Photometry.

51. CIE198:2011. Determination of Measurement Uncertainties in Photometry – Supplement 1: Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties.

Июньское заседание бюро НТС

14 июня 2017 года под председательством Г.В. Бооса состоялось очередное заседание бюро Научно-технического совета (НТС) «Светотехника». Руководители секций НТС представили бюро планы работ по своим направлениям и специалистов, согласившихся принять участие в работе секций. Л.Б. Прикупец, руководитель секции «Облучательные установки фотобиологического действия» рассказал о планах секции на 2017–2018 гг., среди которых – двухгодичная серия фотобиологических исследований в РГАУ-МСХА по оптимизации светотехнических параметров облучательных установок для растений, привлечение к работе секции иностранных специалистов, подготовка стандартов по тематике секции.

Руководитель секции «Светотехническое образование и методология» Е.Ю. Матвеева представила план работ секции, в который вошли актуализация паспорта светотехнической специальности, разработка совместно с секцией «Стандартизация и сертификация в светотехнике» профессионального Федерального государственного стандарта, анализ состояния светотехнического образования, организация взаимодействия со студентами и профессорско-преподавательским составом российских вузов.

Руководитель секции «Стандартизация и сертификация в светотехнике» А.Г. Шахпаруянц среди важнейших задач, которые предстоит решать участникам секции, назвала организацию обсуждения светотехнической общественностью проектов стандартов, в том числе профессиональных стандартов, серию стандартов по светодиодам, освещению автомобильных дорог и сельскохозяйственному освещению, актуализацию нормативной документации по освещению музейных фондов.

Глава секции «Метрология, современные методы измерения и измерительное оборудование» Р.И. Столяревская сообщила, что её секция планирует принять участие в создании специального эталона спектральной плотности полного потока излучения, в работах по адаптации для России стандарта МКО S025, в обсуждении стандарта Американского светотехнического общества по вопросам полезного срока службы световых приборов со светодиодами, а также в разработке измерительного оборудования для световых приборов со светодиодами, продвижение сличения измерительных приборов для фотонной облучённости и в области ФАР.

В.П. Будак, как руководитель секции «Программное обеспечение и математическое моделирование», предполагает в ближайшее время завершить работу по сравнению точности результатов расчёта внутреннего освещения в основных программах проектирования осветительных установок. После публикации отчёта планируется обсудить его со всеми заинтересованными специалистами и пригласить их к дальнейшему сотрудничеству в рамках секции. Далее по такому же алгоритму будут рассматриваться темы светового дизайна, наружного и уличного освещения, единой формы представления результатов, тепловые и оптические расчёты.

Учёный секретарь НТС Д.Д. Юшков рассказал о составе и планах работ секций, руководители которых по уважительным причинам отсутствовали на заседании бюро.

Бюро НТС дало некоторые рекомендации по уточнению планов работ с тем, чтобы после их доработки они были разосланы всем членам совета.

Кроме планов работ секций НТС на заседании бюро были рассмотрены вопросы развития и модернизации кафедры светотехники НИУ «МЭИ». Было отмечено, что руководители холдинга БЛ ГРУПП, ВНИСИ им. С.И. Вавилова и кафедры светотехники провели определённую организационную работу по повышению качества высшего образования и подготовке новых кадров для НИУ «МЭИ». На базе ВНИСИ под руководством В.Г. Бооса создан учебно-исследовательский комплекс – в его аудиториях на экспериментальных установках уже проведены важные исследования и подготовлены магистерские диссертации студентов кафедры светотехники. Бюро были доложены результаты следующего этапа кадровой работы, а именно методической подготовки преподавателей, разработки новых учебных программ, актуализации учебных дисциплин действующих учебных планов подготовки бакалавров по профилю «Светотехника и источники света» и магистров по основной образовательной программе подготовки «Теоретическая и прикладная светотехника», а также дисциплин разрабатываемых учебных планов. Кроме того, членам Бюро были представлены новые преподаватели кафедры светотехники.

В.Ю. Снетков,

Учёный секретарь НТС «Светотехника»



Столяревская Раиса Иосифовна, доктор техн. наук. Окончила в 1968 г. физический факультет Казанского государственного университета. Зам. главного редактора журнала «Светотехника» и научный редактор англоязычной версии журнала «Light & Engineering».

Представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 2 МКО



Розовский Евгений Исаакович, к.т.н. (1984 г.). Окончил МЭИ в 1971 г. Ведущий научный сотрудник ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова». Старший научный редактор журнала «Светотехника».

Эксперт от РФ в ТК 34 МЭК «Источники света и сопутствующее оборудование»

Фотометрия осветительных приборов со светодиодами¹

Э. БЕРГЕН

Компания *Photometric Solutions International Pty Ltd*, Мельбурн, Австралия
E-mail: tonyb@photometricsolutions.com

Аннотация

Светодиоды (СД) резко изменили наш подход к освещению. Они динамичны, универсальны и красочны. Их свет легко регулировать и модулировать, они прочны, долговечны и в различных сочетаниях позволяют как реализовывать живописные и интересные конфигурации, так и формировать захватывающие и жизнерадостные освещённые сцены.

При этом они могут создавать проблемы в части измерений и стандартизации. Не все эти проблемы являются новыми или необычными, но с появлением СД они стали более важными или очевидными и требующими более тщательного рассмотрения. В статье освещается ряд вопросов, с которыми фотометрические лаборатории сталкиваются при испытаниях осветительных приборов с СД, и подчёркивается важность стандартизации.

Ключевые слова: фотометрия, фотометрия СД, стандартизация СД.

1. Погрешности, обусловленные спектральной коррекцией

На рис. 1 приведена функция $V(\lambda)$, представляющая собой спектральную световую эффективность для дневного зрения. Эта функция лежит в основе всей фотометрии, т.к. она говорит о том, как наши глаза воспринимают свет, и чувствительности фотоприёмников, таких как люксметры и яркометры, должны соответствовать этой функции. Кроме того, на рис. 1 приведён спектр излучения лампы накаливания (теплового источника излучения с цветовой температурой 2856 К), который характерен для источников света, используемых для калибровки фотометров.

Однако спектры светодиодных (СД) ламп сильно отличаются от спектра используемого для калибров-

ки источника света. Т.к. спектральная чувствительность фотометра никогда не совпадает в точности с идеальной функцией $V(\lambda)$, то это приводит к по-

Рис. 1. Кривая $V(\lambda)$, на которой основана фотометрия, и спектр лампы накаливания, обычно используемой для калибровки фотометров

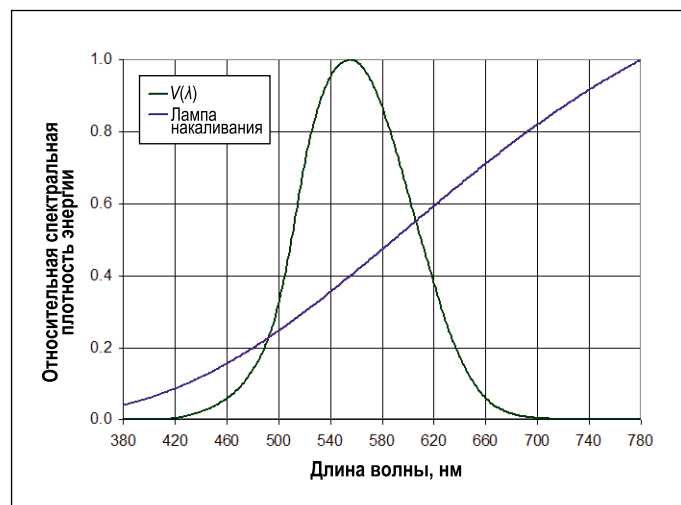
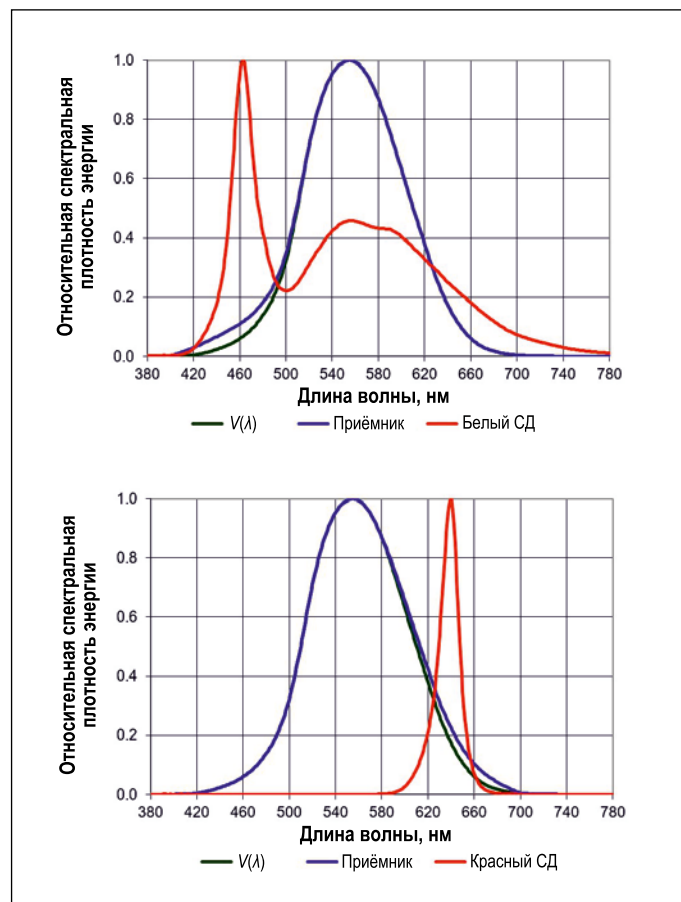


Рис. 1. Кривая $V(\lambda)$, на которой основана фотометрия, и спектр лампы накаливания, обычно используемой для калибровки фотометров



грешностям измерений, которые называют погрешностями спектральной коррекции. Величина такой погрешности зависит от спектральной чувствительности приёмника и спектра измеряемого источника света.

На рис. 2 слева приведены функция $V(\lambda)$ (зелёная линия), спектральная чувствительность гипотетического приёмника, плохо коррелированного в синей области спектра (синяя линия) и спектр СД холодного-белого света (красная линия). Хотя спектры и не согласованы в синей области,

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

в которой имеет место большой пик излучения СД, значения функции $V(\lambda)$ в этой области малы, и вклад синей составляющей в значения световых величин гораздо ниже вклада более длинноволнового излучения (примерно 1/17), что уменьшает погрешность, так что в этом случае погрешность измерений будет равна примерно 3 %. На рис. 2 справа показан ещё один гипотетический приёмник, который плохо коррелирован в красной области спектра. В этом случае большая часть спектра излучения сосредоточена в области, в которой приёмник плохо коррелирован под функцию $V(\lambda)$, и в этом случае погрешность измерений будет равна примерно 20 %. Этот пример говорит о том, что для цветных СД спектральное несоответствие имеет гораздо большее значение, чем для белых СД, однако для обеспечения высокого качества измерений мы должны это учитывать и вводить, по возможности, поправки и при измерениях белых СД.

Дополнительная информация о калибровке фотометров, включая определения погрешностей, связанных со спектральным несоответствием, содержится в [1]. В [2] предлагается основанный на значениях характеристики f_1' фотометра метод определения возможного максимального значения подобной погрешности, которая может иметь место при измерениях белых СД.

2. Источники света с широтно-импульсной модуляцией

Для питания СД источников света часто используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), позво-

Рис. 3 Зависимость мгновенного значения силы света от времени для фонаря с СД с двумя режимами работы

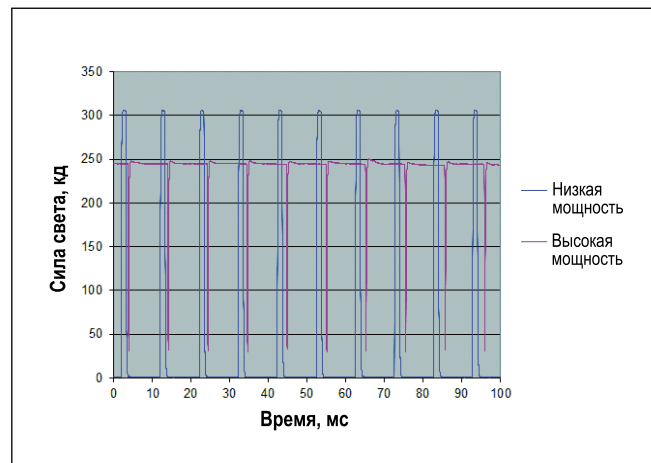


Таблица 1

Сводка результатов измерений фонаря с СД, соответствующих рис. 3

Параметр	Режим низкой мощности	Режим высокой мощности
Пиковая сила света, кд	306	247
Режим работы, %	13,1	98,2
Световая энергия за время 100 мс, кд·с*	3,94	24,0

* Обычно световая энергия (*luminous energy*) измеряется в лм·с (CIE S017/E:2011 «International Lighting Vocabulary», термин 17–733). – Прим. пер.

ляющая осуществлять управление их тепловыми режимами и светорегулирование. Это очень полезно для проектировщиков освещения, но способно усложнить жизнь фотометристов. ШИМ приводит к тому, что источник света быстро включается и выключается много раз в секунду, и тем самым, в зависимости от коэффициента заполнения, мгновенное значение силы света значительную часть времени может быть равным нулю. Это существенно сказывается на стабиль-

ности проводимых измерений, если их временной режим был выбран недостаточно тщательно (см., например, приведённую на рис. 3 зависимость от времени силы света фонаря с СД, имеющего два режима работы).

Если фонарь работает в режиме низкой мощности, то его пиковое значение силы света на самом деле выше, чем при работе в режиме высокой мощности. Это, скорее всего, связано с тепловым режимом: в режиме низкой мощности световой поток из-

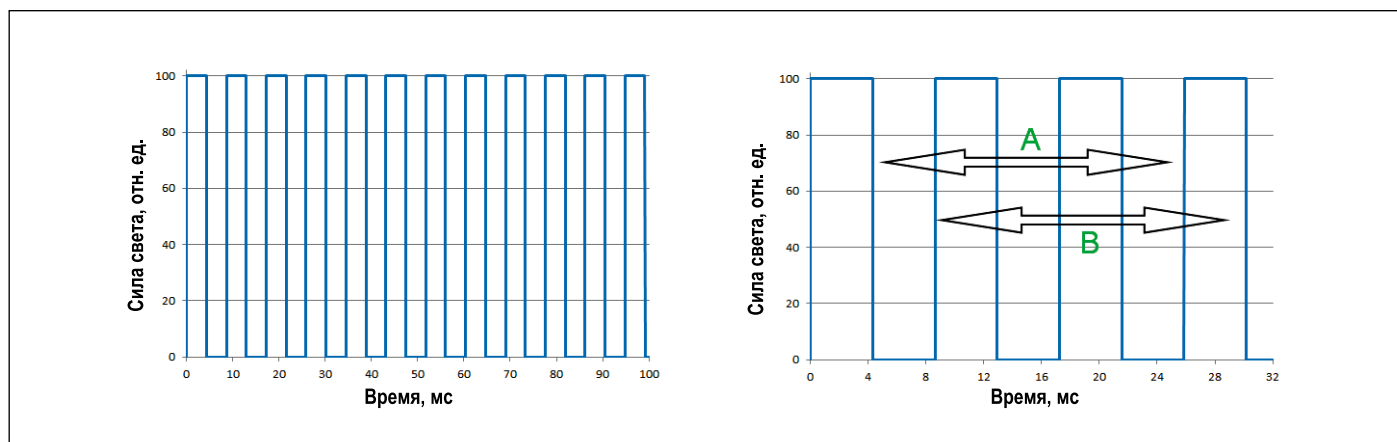


Рис. 4. Гипотетический источник света с широтно-импульсной модуляцией с частотой 116 Гц, максимальной силой света 100 кд и коэффициентом заполнения 50 % (слева) и результаты двух измерений этого источника света при разных моментах зажигания (справа)

Результаты измерений гипотетического источника света, соответствующих левой части рис. 4

Время измерения, мс	Результаты измерений, кд
0–20	56,9
20–40	50,9
40–60	43,1
60–80	55,1
80–100	52,7

лучается в течение небольших промежутков времени и падает до нуля в остальное время. Результаты измерений, соответствующие этим двум режимам работы, приведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, даже несмотря на то, что при работе в режиме нозкой мощности пиковое значение силы света на 24 % больше, чем при работе в режиме высокой мощности, из-за малого коэффициента заполнения количество излучаемой световой энергии в первом случае меньше. Если усреднить данные в пределах 100-мс временного интервала, то можно заметить, что световая энергия, излучаемая в режиме высокой мощности, примерно в шесть раз больше, чем световая энергия, излучаемая в режиме низкой мощности, вследствие чего в режиме высокой мощности источник света воспринимается как более яркий.

Фотометры обычно предназначены для измерения света в течение про-

межутков времени (время интегрирования), являющихся целыми кратными периодами напряжения сети питания. Так что при частоте сети 50 Гц время измерения будет равно 20, 40 или 60 мс и т.д. Представьте, что фотометр с временем интегрирования 20 мс используется для измерения гипотетического источника света с частотой ШИМ 116 Гц (период = 8,62 мс), амплитудой силы света 100 кд и коэффициентом заполнения 50 % (рис. 4, слева).

В правой части рис. 4 приведено расширенное изображение соответствующего зажигания участка левой части рис. 4, а также два результата измерений, проведенных с временем интегрирования 20 мс для разных моментов зажигания. В варианте *A* будут измерены два полных импульса, тогда как в варианте *B* будут измерены 2,6 импульса, и полученное в результате значение будет на 30 % выше, и это несмотря на то, что изме-

ряется один и тот же источник света. Анализ можно продолжить, разделив пример, приведенный в левой части рис. 4, на 5 отдельных периодов длительностью 20 мс каждый (табл. 2).

Среднее значение данных, приведенных в табл. 2, соответствующее результатам одного измерения продолжительностью 100 мс, равно 51,7 кд. Истинная (долгосрочная) средняя сила света должна быть равна 50 кд (100 кд при коэффициенте заполнения 50 %), так что даже при измерениях в течение 100 мс погрешность составляет 3,4 %.

В этом случае правильным было бы подобрать время интегрирования так, чтобы оно соответствовало периоду питания измеряемого источника света. Если время интегрирования фотометра можно было бы выбрать равным 8,62; 17,24 или 34,48 мс и т.д., то это обеспечило бы правильную для этого источника света выборку. Частота ШИМ часто неизвестна, так что оптимальное время интегрирования следует определять экспериментально, регулируя время интегрирования до тех пор, пока колебания результатов измерений будут сведены к минимуму.

3. Направленность СД источников света

Измерение распределения силы света при помощи гониофотометров дальнего поля проводятся в предположении, что размеры светильника «малы» по сравнению с расстоянием измерения. Имеются рекомендации по выбору расстояния измерения: например, согласно [3] это расстояние должно быть не менее чем в 15 раз больше максимального размера излучающего свет участка светильника (это называют правилом 15:1 (*15:1 rule*)), однако эта величина может быть уменьшена до «в 5 раз больше параллельного оси лампы размера излучающего свет участка» в случае источников света с почти ламбертовским (косинусным) распределением (правило 5:1).

Однако в [4] было показано, что даже при выполнении этих рекомендаций по выбору расстояния измерения, измерения светильников с СД, включающих в себя отдельные СД, СД модули или СД матрицы, разделённые большими не излучающими

Рис. 5. Модель дорожного светильника, состоящего из отдельных СД модулей

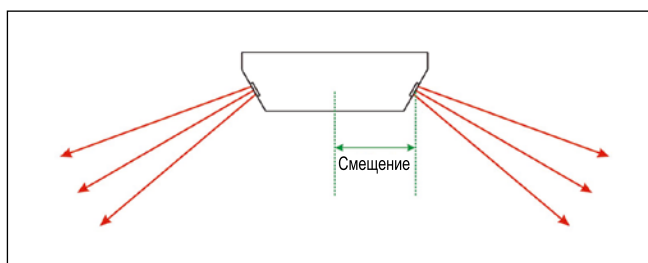
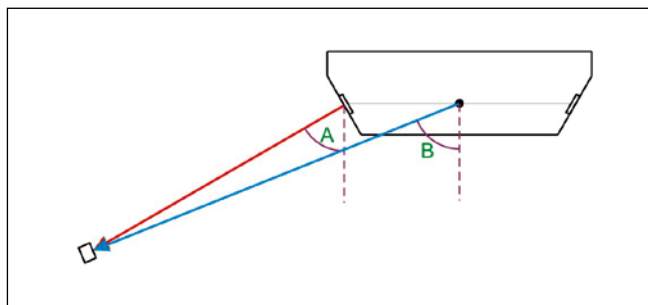


Рис. 6. Модель дорожного светильника, демонстрирующая некорректное определение угла прямого выхода светового потока или угла выхода центрального луча



свет участками, может сопровождаться значительными погрешностями. Рассмотрим модель уличного светильника (рис. 5). Это может восприниматься как крайний случай, однако автору встречались похожие уличные светильники, содержащие отдельные СД модули, которые позволяли получить узконаправленные пучки лучей в нужных направлениях.

При измерении на гониофотометре, этот светильник будет установлен таким образом, чтобы его фотометрический центр совпадал с точкой отсчёта гониометра. Однако если гониофотометром измеряют часть пучка лучей в направлении, которое обозначено на рис. 5 стрелками, то свет явно поступает из точек, расположенных к приёмнику ближе, чем точка отсчёта гониометра. Это может привести к погрешностям измерений, которые увеличиваются по мере уменьшения расстояния измерения, но даже при использовании правила 15:1 в случае дорожного светильника с меридиональным углом центрального луча 60° погрешность измерения пиковой силы света может достигать 6,1 % [4].

Возможны и дополнительные погрешности, связанные с определением угла прямого выхода светового потока или угла выхода центрального луча светильника (рис. 6). Угол прямого выхода светового потока обозначен на рис. 6, как A , однако гониометр будет измерять его, как угол B . Хотя рис. 6 является явным преувеличением из-за чрезвычайно близкого местоположения приёмника, встречающиеся на практике погрешности тоже могут оказаться значительными: при использовании правила 15:1 погрешность определения меридионального угла центрального луча может достигать $0,96^\circ$ [4].

В [4] была предложена идея использования подхода « $D + S$ » при определении минимального расстояния измерения, когда максимальная ширина не излучающего свет участка S прибавляют к размеру излучающего свет участка D . В случаях изображённых на рис. 5 и 6 моделей светильников размер не излучающего свет участка S примерно равен полной ширине излучающего свет участка D , что приводит к практически двукратному увеличению расстояния измерения. Подход « $D + S$ » включён в требования стандарта

Рис. 7. Пример того, как коррелированная цветовая температура СД лампы может изменяться в зависимости от угла относительно оси лампы

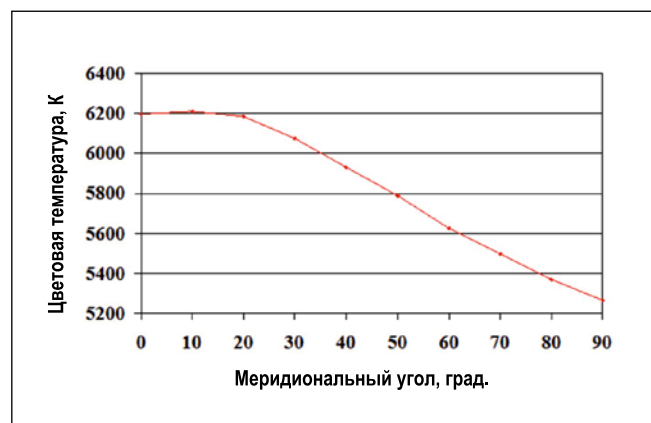
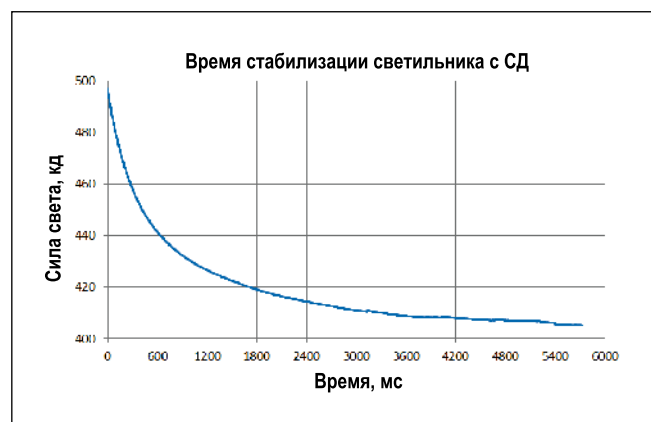


Рис. 8. Уменьшение силы света осветительного прибора с СД по мере его разогрева



[5] к расстоянию гониофотометрических измерений.

4. Угловая зависимость цвета

Традиционные источники света, такие как люминесцентные лампы и разрядные лампы высокого давления, а также светильники с такими лампами, излучают свет, цветовые характеристики которого обычно практически не зависят от угла излучения. Это означает, что в помещении с многочисленными светильниками с лампами одного и того же типа или на дороге, освещённой светильниками с лампами одного и того же типа, цвет излучаемого светильниками света будет достаточно неизменным. Но это не всегда справедливо в случае белых СД, так как несмотря на достигнутые в последние годы успехи свет СД лампы или светильники с СД может сильно зависеть от угла, так что глаз часто может заметить изменение цвета при восприятии комнаты, освещённой осветительными приборами с СД. Пример того, как коррелированная цветовая температура СД лампы может изменяться в зависимости от угла относительно оси лампы, приведён на рис. 7.

Эта угловая зависимость цвета означает, что теперь координаты цветности излучения изделий с СД следует измерять под разными углами, с тем чтобы определить пространственную равномерность цвета. В результате гониофотометры получили более широкое распространение, и теперь стандартной практикой является оснащение гониофотометра не только фотометром, но и спектро радиометром. Методы определения пространственной равномерности цвета содержатся, например, в [5, 6], причём следует отметить, что метод, который приведён в [5], является более строгим (более правильным), чем приведённый в [6] метод.

5. Термические эффекты

Устройства с СД чувствительны к температуре, т.е. их световые характеристики зависят от температуры прибора. После включения прибора его температура возрастает до момента стабилизации, и по мере увеличения температуры световой поток прибора обычно уменьшается. Соответствующий пример приведён на рис. 8, где прибору с СД требуется для стабилизации более полутора ча-

сов, и его сила света уменьшается за это время на, примерно, 20 %.

Поэтому важно точно знать условия стабилизации прибора и учитывать их при измерении осветительных приборов с СД. Согласно [5], СД лампу или светильник с СД можно считать стабилизировавшимся, если:

- Прибор проработал не менее чем 30 мин и
- За последние 15 мин световой поток прибора изменился не более чем на 0,5 %, и
- За последние 15 мин потребляемая прибором мощность изменилась не более чем на 0,5 %.

Однако помимо времени стабилизации имеются и другие факторы, которые влияют на световой поток прибора и которые следует учитывать:

- Температура окружающего воздуха, которая должна быть в нормируемых пределах.
- Воздушные потоки, создаваемые системами кондиционирования воздуха, сквозняками или самим перемещаемым гониофотометром прибором.
- Теплопроводность, обусловленная наличием патронов или других установочных изделий, которые соприкасаются с прибором и отводят от него тепло.

6. Абсолютная фотометрия

Светильники, в которых используются традиционные источники света, такие как люминесцентные лампы, разрядные лампы высокого давления и другие стандартизированные заменяемые источники света, обычно измеряют методами относительной фотометрии. В этом случае значения силы света предварительно относят к световому потоку установленных в светильнике ламп и сохраняют в канделах на равный 1000 лм световой поток самих ламп. Достоинством такого подхода является то, что проектировщик освещения или архитектор может использовать относительные данные, соответствующие тому типу ламп, который он собирается применить в проектируемой осветительной установке, и затем посредством масштабирования этих относительных данных определить, что же будет иметь место в реальной установке.

Однако в неразборных светильниках с СД заменяемые источники света не используются – такие светиль-

ники снимают и заменяют в конце их срока службы. СД модуль не всегда можно извлечь (или извлечь достаточно аккуратно) для проведения относительных фотометрических измерений. Но это и не требуется, так как измеренный в лаборатории светильник будет (по крайней мере, формально) таким же, как и светильник, установленный в помещении, на дороге, на стадионе и т.д. Поэтому измерения светильников с СД обычно проводятся с использованием абсолютной фотометрии, и сообщаемые результаты – это те данные, которые были получены в лаборатории. Большинство лабораторий имеет оборудование, позволяющее производить абсолютные измерения, так что это не обязательно затрудняет проведение измерений.

Следует также отметить, что в этих случаях КПД светильника равен 100 %!

7. Потребность в стандартизации

Исторически сложилось так, что в различных частях света были разработаны разные методы испытаний осветительных приборов с СД. Это препятствует торговле и затрудняет проведение сличений, так как результаты измерений, проведённых в соответствии со стандартами одного региона, не всегда можно непосредственно сравнить с результатами измерений, проведённых в соответствии со стандартами другого региона.

Международная комиссия по освещению (МКО) представляет собой независимую некоммерческую организацию, которую Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международная электротехническая комиссия (МЭК) признают в качестве международной организации по стандартизации в области света и освещения. В 2011 г. МКО сформировала технический комитет TC2-71 «Стандарты МКО на методы испытаний СД ламп, СД модулей и светильников с СД», задачей которого была разработка стандартных методов фотометрических, колориметрических и электротехнических измерений осветительных приборов с СД. Этот комитет является действительно международным, так как включает в себя 37 представителей из 16-ти стран всех 5-ти континентов.

Результатом работы этого комитета явилась публикация стандарта *S025/E:2015* «Методы испытаний СД ламп, СД модулей и светильников с СД» [5]. *S025* содержит унифицированный метод испытаний, обеспечивающий гармонизацию испытаний изделий с СД. Национальным и региональным организациям по стандартизации и контрольно-надзорным органам рекомендуется принять *S025* и использовать этот стандарт для проведения измерений приборов с СД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/CIE19476:2014(E). Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters.
2. Krüger, U., Blattner, P. Spectral mismatch correction factor estimation for white LED spectra based on the photometer's f_1' value // CIE x038:2013 Proc. of the CIE Centenary Conference «Towards a New Century of Light», Paris, 2013.
3. CIE121-1996. The Photometry and Goniophotometry of Luminaires.
4. Bergen, A.S.J., Jenkins, S.E. Determining the minimum test distance in the goniophotometry of LED luminaires // CIE x037:2012 Proc. of CIE2012 «Lighting Quality and Energy Efficiency», 2012.
5. CIE S025/E:2015. Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules.
6. IESNA LM-79-08. Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products.



Энтони Берген (Тони Берген).

Физик с более чем 20-летним опытом работы в области фотометрии и радиометрии с упором на гониофотометрию, спектрора-

диометрию, лабораторные исследования и погрешности измерений. Технический директор компании Photometric Solutions International, Австралия. Секретарь отделения 2 МКО, президент австралийского регионального комитета МКО, представитель Австралии в отделении 2 МКО и руководитель ТК 2-77 и ТК2-78 МКО

Космические ретрорефлекторные системы

А.Л. СОКОЛОВ, А.С. АКЕНТЬЕВ, В.Д. НЕНАДОВИЧ

АО «НПК «СПП», Москва
E-mail: alsokolov@bk.ru

Аннотация

Рассмотрены основные геодезические спутники-цели двухсторонней импульсной лазерной дальнометрии. Представлена модернизированная кольцевая ретрорефлекторная система для навигационного космического аппарата «Глонасс». Рассмотрены основные характеристики малогабаритной ретрорефлекторной системы «Пирамида» для низкоорбитальных спутников.

Ключевые слова: уголкового отражателя, ретрорефлекторные системы, космический аппарат, геодезические спутники-цели.

1. Введение

На всех современных навигационных и геодезических космических аппаратах (КА) размещают уголкового отражатели (УО), которые образуют так называемые ретрорефлекторные системы (РС) [1–5]. Назначение последних состоит в отражении луча лазерного дальнометра обратно к источнику излучения для прецизионного измерения дальности до КА с целью уточнения параметров орбиты и координат оптико-лазерной станции, а также для калибровки наземных радиотехнических измерительных средств [6–9].

УО является уникальным оптическим устройством, которое меняет направление падающего луча на противоположное независимо от угла падения (на рис. 1 показаны ход луча в УО и ряд закреплённых в металлическом стакане УО, которые изготавливаются в АО «НПК «Системы прецизионного приборостроения» (в общей сложности в космосе находится несколько десятков тысяч таких УО).

На сегодня одним из основных инструментов для обеспечения высокой точности геоцентрических координат измерительных пунктов ГЛОНАСС является сеть лазерных станций, измеряющих дальность до специальных геодезических спутников, которые должны иметь субмиллиметровую

ошибку цели (неконтролируемую добавку к систематической поправке измерения) и нулевую сигнатуру (отсутствие искажения формы и длительности импульса). Измерение дальности до таких спутников необходимо также для решения задач космической геодезии, геодинамики и навигации, в том числе для исследований гравитационного поля Земли, влияния негравитационных сил на стабильность орбит КА и т.д.

Пассивные геодезические спутники-цели (рис. 2) для высокоточной лазерной дальнометрии в большинстве случаев представляют собой тяжёлые металлические шары, на поверхности которых размещается от 60 до 2142 УО. За последние десятки лет для решения фундаментальных и прикладных задач были созданы и выведены на орбиты спутники «LAGEOS-1» (США, 1976 г.), «LAGEOS-2» (США, Италия, 1992 г.), «STARLETTE» (Франция, 1975 г.), «STELLA» (Франция, 1993 г.), «ЭТАЛОН-1» (СССР, 1989 г.), «ЭТАЛОН-2» (СССР, 1989 г.), «GFZ-1» (Германия, Россия, 1995 г.), «Ларец» (Россия, 2003 г.), «WESTPAC» (Россия, 1998 г.), «LARES» (Италия, 2012 г.) и ряд других. Высота орбиты спутников «Эталон» – 19100 км, количество УО – 2142 шт., диаметр – 1294 мм и масса – 1300 кг.

Если объект, на котором находится УО, движется, то возникает так называемое явление *скоростной аберрации*, вследствие которого луч отклоняется на угол $2\cdot u/c$, где u – тангенциальная составляющая скорости

движения объекта и c – скорость света (рис. 3). Отклонение лазерного луча зависит от высоты орбиты спутника и может достигать при небольших высотах 10 угловых секунд, что означает смещение центра светового пятна на поверхности Земли на десятки-сотни метров от передатчика. Поэтому для успешной работы дальномерной системы необходимо, чтобы энергия отражённого лазерного пучка была сосредоточена на определённом расстоянии от оптической оси.

2. КА «Блиц»

Многоэлементные РС имеют значительную ошибку цели и ненулевую сигнатуру, что препятствует достижению субмиллиметровой точности измерений. Кроме того, взаимодействие магнитного поля Земли с наводимыми в металлическом корпусе спутника вихревыми токами замедляет его собственное вращение вплоть до полной остановки, что снижает точность измерений.

Эти недостатки можно преодолеть путём реализации спутника в виде сферической стеклянной линзы, фокусирующей падающую плоскую волну на своей противоположной поверхности с отражающим покрытием [10]. В данном случае оптический путь лазерного луча внутри шара не зависит от угла прихода, и не искажаются форма и длительность сигнала.

С этой целью в АО «НПК «СПП» был разработан и изготовлен КА «Блиц-М» (рис. 3), который обеспечивает субмиллиметровую ошибку цели с нулевой сигнатурой и площадь эквивалентной поверхности рассеяния около 10^6 м² для получения прецизионных измерительных данных в целях геодезического обеспечения системы ГЛОНАСС. КА «Блиц-М»

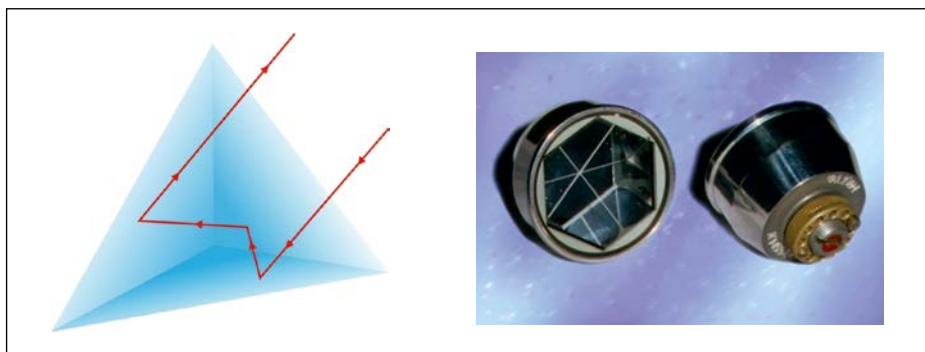


Рис. 1. Уголкового отражатели в опрае, изготавливаемые в АО «НПК «СПП»

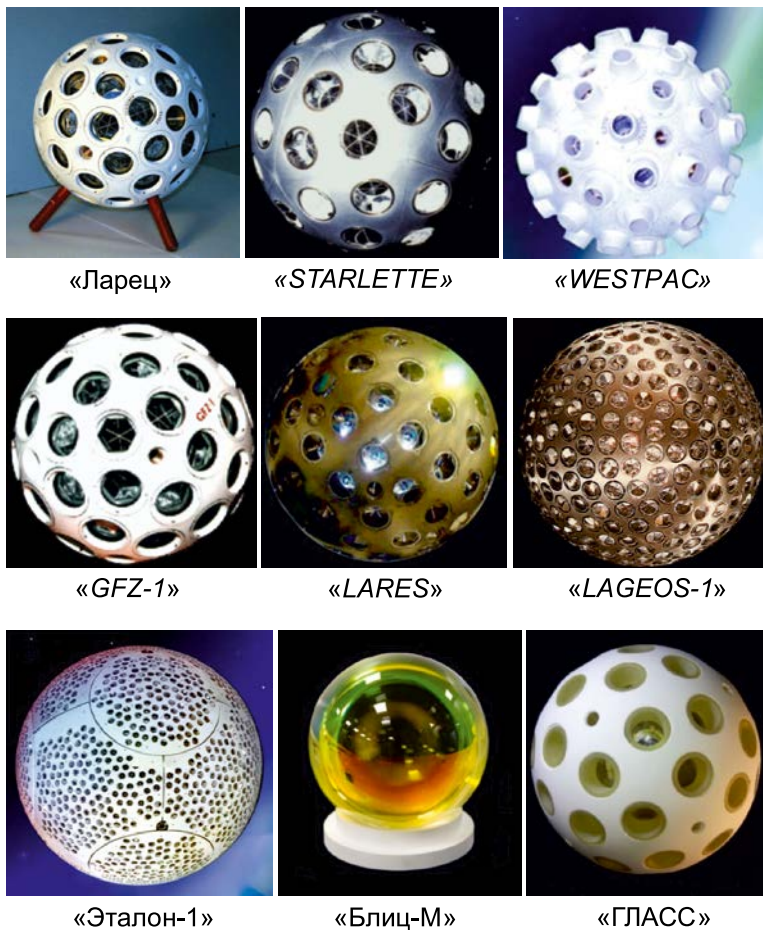
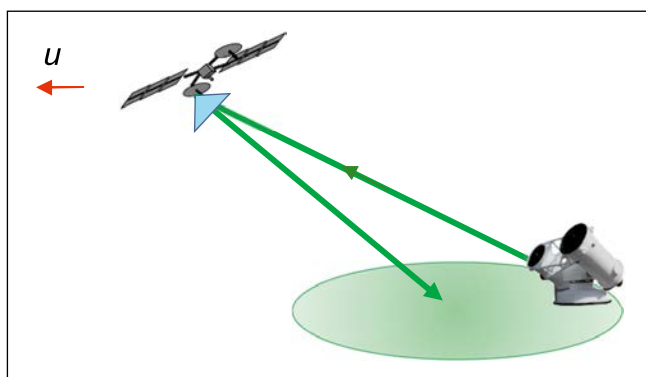


Рис. 2. Пассивные спутники-цели – сферические РС (показаны не в масштабе)

Рис. 3. Эффект скоростной абберации: отражённый луч отклоняется на угол, зависящий от скорости спутника



представляет собой сферическую стеклянную оптическую систему, состоящую из внутреннего шара и двух внешних менисков диаметром 220 мм и общей массой 17 кг. Для улучшения баллистического качества и энергетиче-ски спутника с учётом большей высоты орбиты необходимо было увеличить его размер по сравнению с предыдущей конструкцией КА «Блиц», который прекратил существование в 2013 г. после столкновения с элементом космического мусора на высоте 832 км. Чем больше радиус шара, тем больше отношение массы к площади поперечного сечения и энергия

лазерного излучения, отражённого спутником.

Однако основную роль в повышении силы излучения в направлении приёмника играет оптимальное, в смысле уменьшения сферической абберации, соотношение радиусов кривизны и толщины слоёв для данной длины волны, показателей преломления стекла и температуры спутника. Это позволяет сформировать индикатрису отражения (диаграмму направленности) с максимально возможной интенсивностью отражённого излучения для углов отклонения от оптической оси в диапазоне 6–8°

с учётом явления скоростной абберации.

Один из ключевых критериев для выбора конструкции – обеспечение срока службы КА «Блиц-М» в течение десяти лет. С этой целью в конструкции спутника использованы радиационно-стойкие стекла К108 (для изготовления внешних менисков) и ТФ105 (для изготовления внутреннего шара) и разработана термоустойчивая конструкция.

В целом средняя температура спутника на орбите отрицательна и равна примерно минус 25 °С. Однако при движении по орбите каждые два часа он подвергается облучению Солнцем с различным углом падения света и может заходить в тень Земли. При этом следует учитывать, что ось вращения КА «Блиц-М» перпендикулярна плоскости орбиты, а скорость вращения составляет от 5 до 10 оборотов в минуту, для того, чтобы спутник попеременно направлялся пропускающей и отражающей полусферами на лазерную станцию. Алюминиевое отражающее покрытие приводит к значительному нагреву спутника, перепадам температуры и неравномерности её распределения. Поэтому в КА «Блиц-М» один из внешних менисков имеет интерференционное диэлектрическое покрытие.

Для достижения целевой функции необходимо было правильно выбрать высоту орбиты КА «Блиц-М». Факторы, определяющие выбор орбиты – это остаточное влияние атмосферы, космический мусор и воздействие радиации космоса (высокоэнергетические элементарные частицы, УФ излучение Солнца). Чем выше орбита, тем она стабильней, тем меньше влияние атмосферы и плотность космического мусора. На высотах свыше 1500 км вероятность столкновения с космическим мусором критического размера достаточно мала.

Для космической же радиации картина обратная: с увеличением высоты от 1500 км и приближением к радиационным поясам растёт число высокоэнергетических электронов и протонов, способных приводить к деградации внешних менисков.

В результате проведённых исследований высота орбиты КА «Блиц-М» (круговой, околополярной) выбрана оптимальной – близкой к 1500 км. Планируется выведение на орбиту КА «Блиц-М» в качестве полезной

нагрузки вместе с группой КА «Гонец» в 2018 г.

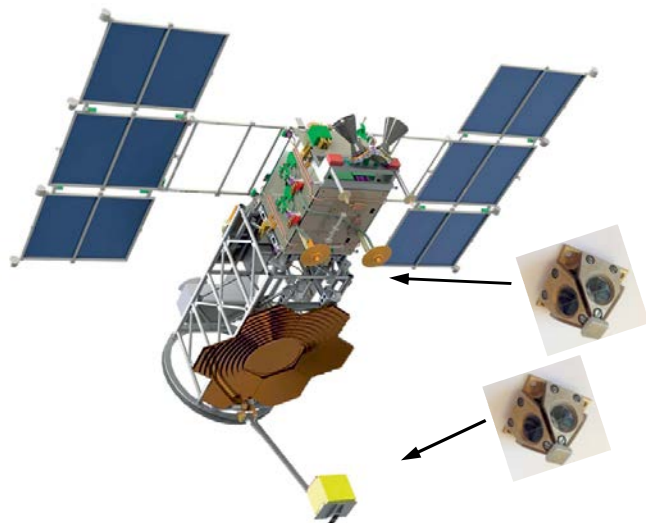
3. Индикатриса отражения углового отражателя

Если на УО падает плоская волна, то в дальней зоне образуется дифракционная картина, вид которой зависит от многих факторов: размера УО, точности изготовления двухгранных углов, вида покрытия отражающих граней и т.д. Луч может пройти путь внутри УО шестью разными способами, в зависимости от попадания на один из шести секторов входной грани [1–5]. Каждое из трёх отражений характеризуется сдвигом фазы между ортогональными компонентами вектора E (линейной фазовой анизотропией), при этом плоскости падения луча на грани не совпадают. Угол падения на каждую грань УО равен $\arctg \sqrt{2} \approx 54^\circ$, а угол между плоскостями падения на грани равен $\alpha = \pm 60^\circ$. Для описания поляризационных свойств УО необходимо рассматривать шесть результирующих матриц Джонса для разных комбинаций хода луча с учётом поворотов системы координат и сдвига фазы δ на отражающих гранях. Каждый сектор УО характеризуется определёнными амплитудно-фазовыми коэффициентами пропускания для ортогональных компонент вектора E . В результате отражения света образуется шесть когерентных пучков, поэтому необходимо учитывать их различное состояние поляризации, расширение по мере распространения в пространстве и интерференцию в дальней зоне [1–5].

Дифракционная картина в дальней зоне (индикатриса отражения) существенно зависит от сдвига фаз ортогональных компонент при отражении, который определяется видом покрытия граней УО и имеет вид нескольких пятен (лепестков индикатрисы отражения). В частном случае, это дифракционная картина Эйри с угловой шириной центрального максимума между первыми нулями $2\gamma \approx 2,44 \cdot \lambda/D$, где D – диаметр апертуры УО.

Формирование требуемого сдвига фаз обеспечивается изменением сдвига фаз между ортогональными компонентами электрического вектора E при отражении. Покрытие с *любым* сдвигом фазы может быть спроектировано на базе тонких диэлектрических слоёв, напыляемых на отражающие

Рис. 4. КА «Ломоносов». РС «Пирамида» в количестве 2 шт. показана в увеличенном масштабе



грани УО [11–13]. Первый диэлектрический слой, примыкающий к поверхности призмы, должен иметь показатель преломления выше, чем у материала призмы, например $n = 2$; при контакте последнего слоя с воздухом всегда наблюдается полное внутреннее отражение, так что потери в идеале отсутствуют (только в отличие от УО без покрытия многолучевая интерференция приводит к дополнительному сдвигу фаз между ортогональными компонентами).

4. Кольцевая ретрорефлекторная система из угловых отражателей увеличенного размера с двухлепестковой индикатрисой отражения

В КА «Глонасс-К» используется *кольцевая* ретрорефлекторная система, состоящая из трёх рядов УО с непокрытыми гранями. Как показано в п. 3, при полном внутреннем отражении света от граней УО дифракционная картина отражённого излучения в дальней зоне имеет вид одного центрального и шести периферийных пятен. Специальный разворот каждого УО в плоскости панели позволяет получить кольцо интенсивности, которое формируется боковыми пятнами каждого УО. Поскольку дифракционная картина РС образована всеми УО, то и на приёмное устройство приходят фотоны, отражённые от всех УО. При наклонах панели УО оказываются расположенными на разном расстоянии от приёмника. При рабочих углах падения излучения $8\text{--}10^\circ$ ответный сигнал удлиняется до значения

$600\text{--}700$ пс. Это означает, что среднее квадратичное отклонение (СКО) единичного измерения дальности составляет в среднем 60 мм вместо требуемых 6–8 мм.

Проблема уменьшения случайной погрешности одиночного измерения (СКО) при одновременном увеличении энергии отражённого сигнала в направлении приёмника лазерного дальномера может быть решена за счёт кольцевой РС, состоящей из «*двухлепестковых*» УО увеличенного размера. Двухлепестковая дифракционная картина формируется за счёт контролируемого изменения одного из двухгранных углов. Угловой размер каждого пятна зависит от размеров УО: чем больше УО, тем больше концентрация энергии в пятне. Грани таких УО должны быть покрыты специальным диэлектрическим покрытием для того, чтобы, с одной стороны, сформировать нужную индикатрису отражения, а с другой – уменьшить её термические искажения.

Оптимальная индикатриса отражения обеспечивается выбором размера УО (42–48 мм) и развала угла между отражающими гранями (2,2–2,5"). При угловом расстоянии между боковыми лепестками, равном удвоенному значению угловой абберрации, одно из пятен как раз попадает на приёмник отражённого сигнала (рис. 2). Это позволяет снижать потери энергии, которые возникают, если индикатриса отражения имеет один широкий или семь узких лепестков [1–6].

Для кольцевой РС (КРС) требуется использовать 36 УО, развёрнутых относительно друг друга на некото-

рый угол, например на 10° , так, чтобы все линии, соединяющие боковые лепестки были направлены к геометрическому центру КРС. Тогда для определённой ориентации КРС в направлении на приёмник отражают два УО на противоположных сторонах этой РС. В данном случае СКО определения геометрического центра РС равно корню из суммы квадратов СКО двух сигналов, т.е. для длительности исходного импульса 50 пс это $18 \cdot \sqrt{2} = 25$ пс (7,5 мм в линейной мере), независимо от угла падения.

5. «Пирамида»

Разработанная в АО «НПК «СПП» малогабаритная РС «Пирамида» представляет собой пирамидальную конструкцию из четырёх УО с общей вершиной (рис. 4). Её масса составляет всего 30 г, а поперечный размер не превышает 40 мм.

Для достижения требуемых энергетических и точностных характеристик необходимо, чтобы конструктивные параметры РС обеспечивали оптимальную индикатрису отражения. Наличие скоростной aberrации приводит к тому, что оптимальное направление приёма отличается от оси индикатрисы отражения и зависит от скорости спутника, т.е. от высоты его орбиты. Для низкоорбитальных спутников среднее значение скоростной aberrации [6] составляет около $8''$. Это означает, что необходимо каким-то образом расширять индикатрису, например, уменьшая размер УО; однако при этом уменьшается апертура, и в целом падает принимаемая энергия лазерного излучения. При увеличении количества УО возрастает как эффективная поверхность рассеяния, так и вероятность отражения излучения от двух и более УО. Если расстояние от лазерного передатчика до отдельных УО в РС различно, то возникает удлинение ответного сигнала, приводящее к так называемой ошибке цели.

В зенитной области пролёта КА угол падения на все четыре УО составляет около 54° , при этом апертура УО уменьшается и имеет овальную форму. В результате эффективная поверхность рассеяния для отражённого от УО излучения оказывается минимальной и не превышает нескольких тысяч квадратных метров. В случае расположения спутника чуть выше ли-

ний видимого горизонта площадь этой поверхности составляет от 10000 до 42000 м^2 . Вместе с тем, расстояние до спутника минимально как раз в зенитной области и максимально при расположении спутника чуть выше линии видимого горизонта. Поскольку количество фотоэлектронов, регистрируемых фотоприёмником наземной квантово-оптической системы, пропорционально четвёртой степени расстояния до спутника, то увеличение апертуры УО при уменьшении угла наклона КА компенсирует увеличение расстояния. В результате количество фотоэлектронов оказывается максимальным в области зенитного угла наблюдения $\theta_{zen} = 30^\circ$.

В зенитной области максимальная ошибка измерения дальности возникает, когда излучение падает сразу на несколько УО, за счёт разной оптической длины луча внутри двух УО. Минимумы ошибки цели соответствует случаю, когда излучение падает на два УО, но оптическая длина пути луча внутри них одинакова. В целом ошибка измерения дальности до КА с РС «Пирамида» не превышает 0,5 мм.

Две малогабаритные РС «Пирамида», созданные в АО «НПК «СПП», были размещены на борту КА «Ломоносов» (рис. 4). Спутник был запущен на солнечно-синхронную орбиту высотой 500 км в апреле 2016 г. с научной аппаратурой МГУ им. М.В. Ломоносова для исследования явлений в верхних слоях атмосферы.

Каждая из РС представляет собой пирамиду, состоящую из четырёх угловых отражателей с общей вершиной, и способна отражать лазерные импульсы со всей нижней полусферы. Одна РС размещена на корпусе спутника, а другая на выдвижной штанге на расстоянии около 2 м. Проведённые измерения в одноэлектронном режиме позволили наблюдать два трека на расстоянии, зависящем от ориентации спутника относительно лазерной станции в момент наблюдения.

Несмотря на малые размеры, РС обеспечили достаточную площадь эквивалентной поверхности рассеяния. По оценке (были проведены сравнительные измерения по спутникам «Stella» и «Lageos») она составила 0,02–0,05 млн м^2 . Результаты космического эксперимента позволяют рекомендовать данную систему для установки на низкоорбитальные космические аппараты с целью определения

их ориентации и дополнительного мониторинга за развёртыванием составных частей аппарата в космосе.

Заключение

Космические РС являются важным бортовым сегментом оптико-лазерных средств, необходимых для решения задач космической геодезии, геодинамики и навигации, в том числе для исследования гравитационного поля Земли, влияния негравитационных сил на стабильность орбит космических аппаратов (КА) и других научных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротяев В.В., Панков Э.Д. Поляризационные свойства угловых отражателей // Оптико-механическая промышленность. – 1981. – № 1. – С. 9–12.
2. Денисюк Г.В., Корнеев В.И. Формирование мелкоструктурного изображения угловыми отражателями, работающими на основе явления полного внутреннего отражения // Оптико-механическая промышленность. – 1982. – № 9. – С. 1–3.
3. Садовников М.А., Соколов А.Л. Пространственная поляризационная структура излучения, формируемая угловыми отражателями с металлизированными гранями // Оптика и спектроскопия. – 2009. – Т. 107, № 2. – С. 213–218.
4. Садовников М.А., Соколов А.Л., Шаргородский В.Д. Анализ эквивалентной поверхности рассеяния угловых отражателей с различным покрытием граней // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 8. – С. 55–62.
5. Ищенко Е.Ф., Соколов А.Л. Поляризационная оптика (учебное пособие). 2-е изд. – М.: Физматлит, 2012. – 446 с.
6. Degnan John J. Millimeter Accuracy Satellite Laser Ranging: A Review // Contribution of Space Geodesy to Geodynamics: Technology. – 1997. – Vol. 25. – P. 133–162.
7. Васильев В.П., Шаргородский В.Д. Прецизионная спутниковая лазерная дальнометрия на основе лазеров с высокой частотой повторения импульсов // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2007. – № 7. – С. 6–10.
8. Arnold D. URL: http://ilrs.gsfc.nasa.gov/about/reports/other_publications.html (дата обращения: 03.2017).

9. Садовников М.А. Необходимые условия достижения субмиллиметровой точности измерений в спутниковой лазерной дальнометрии // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2009. – № 12. – С. 13–16.

10. Белов М.С., Васильев В.П., Гашкин И.С., Пархоменко Н.Н., Шаргородский В.Д. Сферическая линза как спутник цель для прецизионной лазерной дальнометрии // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2007. – № 7. – С. 11–14.

11. Соколов А.Л., Мурашкин В.В. Дифракционные поляризационно-оптические элементы с радиальной симметрией // Оптика и спектроскопия. – 2011. – Т. 111. – С. 900–907.

12. Sokolov A.L. Formation of polarization-symmetrical beams using cube-corner reflectors // J. Opt. Soc. Am. A. – 2013. – Vol. 30, No 7. – P. 1350–1357.

13. Sokolov A.L. Optical vortices with axisymmetric polarization structure // Optical Engineering. – 2017. – Vol. 56 (1). – P. 014109–1 – 014109–8.

Физики впервые получили «жидкий свет» при комнатной температуре, сделав эту необычную форму материи более доступной, чем когда-либо. Она представляет собой одновременно смесь из сверхтекучей жидкости, обладающей нулевым уровнем трения и вязкости, и своего рода конденсата Бозе-Эйнштейна (КБЭ), который нередко называют пятым состоянием материи. Эти свойства позволяют свету фактически обтекать вокруг находящиеся перед ним объекты.

Обычный свет, как правило, демонстрирует свойства волны и иногда частиц и всегда движется только по прямой. Именно поэтому наши глаза, например, не способны видеть за углами. Однако при определённых и весьма экстремальных окружающих условиях свет также может вести себя как жидкость, обретая способность обтекания вокруг объектов.

Интерес для науки КБЭ представляют в первую очередь за счёт своего агрегатного состояния, когда правила, по которым они действуют, работают на грани классической и квантовой физики, когда твёрдая материя начинает приобретать скорее волновые свойства. Как правило, такие конденсаты создаются при температурах, близких к абсолютному нулю, и способны существовать доли секунды.

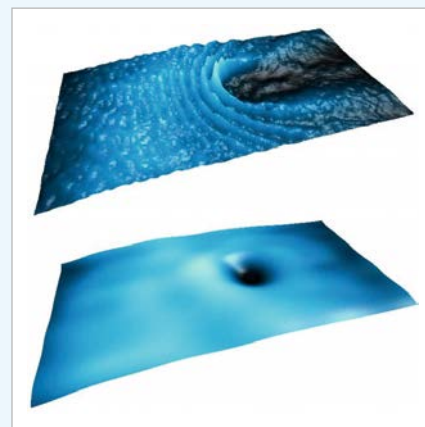
Но в рамках последнего исследования учёные смогли создать КБЭ при обычной комнатной температуре, используя «франкенштейнский» набор из материи и света.

«Особенность нашей работы заключается в том, что мы продемонстрировали возможность создания состояния сверхтекучести при комнатной температуре окружающей среды, используя частицы светоматерии, называемые поляритонами», – говорит ведущий исследователь Даниэле Санвитто из итальянского Института нанотехнологий CNR NANOTEC.

Создание поляритонов потребовало от исследователей использования очень дорогого оборудования и технологий нанотехнологического уровня. Учёные поместили между двумя «суперотражающими» зеркалами слой органических молекул толщиной 130 нм и пропустили через него 35-фс лазерный импульс ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$).

В результате получилась «сверхжидкость» с весьма необычными свойствами. При обычных условиях

температуры, когда простая жидкость будет обладать свойством текучести, на её поверхности под внешним воздействием может создаваться рябь и завихрения. Сверхжидкость же такой ответной реакции не показывает.



На верхнем изображении видно, как поток поляритонов, направленный в обычную жидкость, создаёт волны, в то время как внутри сверхжидкости (на нижнем изображении) такой особенности не демонстрирует.

Учёные говорят, что результаты этих исследований не только открывают дорогу к новым исследованиям особенностей квантовой гидродинамики, но также и к созданию устройств и технологий будущего, которые будут способны использовать поляритоны в обычных условиях. Речь идёт о новых типах сверхпроводниковых материалов, которые можно будет использовать в производстве нового поколения светодиодов, солнечных панелей и лазеров.

«Тот факт, что подобный эффект наблюдается и при обычных условиях окружающей среды, открывает множество возможностей для будущей работы», – говорят исследователи.

«Это не только новая веха в исследовании таких феноменов, как КБЭ, но и дорога к потенциальной разработке футуристичных фотонных устройств на базе сверхтекучих жидкостей, в которых проблема искажений будет полностью отсутствовать, а вместо этого будет открыта дверь к другим новым неожиданным феноменам».

Результаты работы итальянских физиков опубликованы в последнем номере журнала «Nature Physics».

hi-news.ru
20.06.2017



Соколов Андрей Леонидович,
доктор техн. наук, доцент. Окончил в 1981 г. МЭИ. Начальник научно-технического комплекса АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»



Акентьев Александр Сергеевич.
Окончил в 2014 г. МЭИ. Инженер АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения». Аспирант НИУ «МЭИ»



Ненадович Владимир Дмитриевич. Окончил в 2013 г. МЭИ. Инженер АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения». Аспирант НИУ «МЭИ»

Оптико-электронная связь в атмосфере на рассеянном лазерном излучении. Полевые эксперименты

В.Н. АБРАМОЧКИН, В.В. БЕЛОВ, Ю.В. ГРИДНЕВ, А.Н. КУДРЯВЦЕВ, М.В. ТАРАСЕНКОВ, А.В. ФЕДОСОВ

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск
E-mail: belov@iao.ru

Аннотация

В работе обсуждаются результаты полевых экспериментов с бистатистическими оптико-электронными системами связи (ОЭСС) в атмосфере на рассеянном лазерном излучении, выполненных 2013–2016 гг. Эксперименты проведены с целью оценок качества связи (на основе контроля вероятностей и ошибок и их среднеквадратичных отклонений) и позволяет сделать следующее предположение: возможно создание бистатистических ОЭСС, эффективно функционирующих в атмосфере при базах до сотен метров в УФ и до сотен километров в видимом диапазоне длин волн при ориентациях оси приёмника как в полусфере, содержащей направление на источник, так и в полусфере, содержащей направление распространения нерассеянного лазерного излучения.

Ключевые слова: оптико-электронная связь, рассеянное в атмос-

фере лазерное излучение, время-импульсная модуляция, вероятности ошибок.

1. Введение

В [1] были рассмотрены общие вопросы организации бистатистических (загоризонтных) оптико-электронных систем связи (ОЭСС) на рассеянном лазерном излучении, обосновали выбор метода Монте-Карло для моделирования передаточных характеристик атмосферных бистатистических каналов. Там же привели описание лабораторной реализации экспериментальной установки и пример её испытания в 2012 г. в реальных атмосферных условиях.

В 2013–2016 гг. в летне-осенний период была проведена серия полевых экспериментов с целью оценки возможности и качества приёма информации по бистатистическим оптическим каналам связи при различных атмос-

ферных условиях и вариациях геометрических параметров приёмо-передающей схемы ОЭСС.

В работе приводятся новые и обобщаются предыдущие результаты этих исследований, выполненных на атмосферных трассах в Томской области.

2. Аппаратура и оптико-геометрические условия экспериментов

Блок-схема лабораторного макета бистатистической ОЭСС, которая подробно описана в [1], приведена на рис. 1.

В качестве источника излучения использовались лазеры на парах бромида меди [2], созданные в ИОА СО РАН и имеющие следующие характеристики: длина волны излучения $\lambda = 510,6$ нм, частота повторения импульсов 11–14 кГц, длительность импульса $\Delta t = 30$ нс, средняя мощность $P = 4$ –14 Вт, диаметр пучка на входе в атмосферу $\varnothing = 15$ мм; расходимость излучения $\Delta n = 0,06$ мрд.

Угол поля зрения приёмного телескопа составлял $FOV = 2^\circ$, в качестве фотоприёмника использовался ФЭУ-84. Оптическая ось приёмного телескопа пересекала оптическую ось лазерного пучка, и её наклон относительно горизонтальной плоскости задавался углом α . Передающая ОЭСС располагалась в северной башне блока «А» ИОА СО РАН на высоте $h_0 = 13$ м от поверхности земли или 173 м над уровнем моря. Направление оси лазерного пучка определялось углом места $5^\circ < \theta < 15^\circ$ и азимутальным углом $-10^\circ < \varphi < +10^\circ$ в горизонтальной плоскости от направления на приёмную ОЭСС. Во время проведения экспериментов в 2013 г. средняя мощность лазерного источника составляла 4 или 6 Вт, в 2016 г. – 8,5 или 14 Вт.

Лазерный пучок проходил (в зависимости от расположения приёмной оптической системы) над г. Томском и р. Томью (рис. 2, направление 1), над г. Томском, р. Томью и пригородной зоной (рис. 2, направление 2), над г. Томском, р. Томью и жилым посёлком Березкино (рис. 2, направление 3), и над г. Томском, р. Томью, лесными массивами, р. Обью и фрагментами Обского болота (рис. 2 направление 4).

В экспериментах измерялся интервал времени между излучаемым лазерным и синхроимпульсом. Именно этот вид модуляции излучения (время-импульсная) используется в лабора-

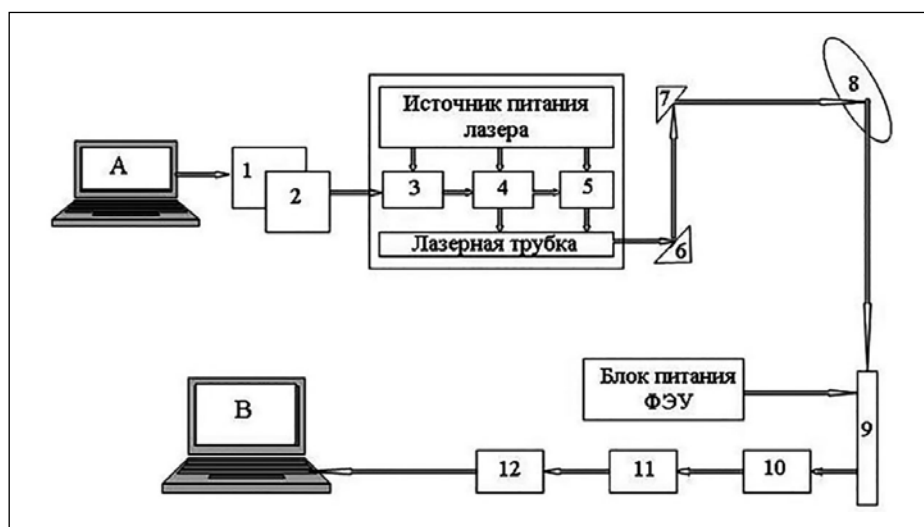


Рис. 1. Блок-схема лабораторного макета бистатистической лазерной системы связи. Обозначения: А – «передающий» компьютер, 1 – интерфейс, 2 – устройство кодирования данных, 3 – задающий генератор лазера, 4 – модулятор, 5 – тиратрон лазера, 6,7 – юстировочные узлы, 8 – рассеивающий объём, поверхность, 9 – телескоп + фотозлектронный умножитель (ФЭУ), 10 – усилитель сигнала, 11 – устройство декодирования, 12 – интерфейс, В – «принимающий» компьютер

торном макете бистатической ОЭСС. Во время экспериментов с помощью активно-импульсной высокочувствительной ОЭСС «ЗОНД М» [3], работавшей в пассивном режиме, выборочно осуществлялась видеозапись рассеянного следа луча в атмосфере. На рис. 3 приведены примеры этих изображений.

Мобильная приёмная ОЭСС могла размещаться в любой доступной для автотранспорта точке. Первые успешные полевые эксперименты были проведены в 2013 г. при размещении приёмной ОЭСС на расстоянии 9,9 км от источника лазерного излучения и высоте приёмника над уровнем моря 79 м. Основные эксперименты были проведены в 2013 г. при расположении приёмной системы в поле за р. Томью в направлении излучения, отмеченного на рис. 1 цифрой 2. База источник-приёмник составляла 8,77 км, высота приёмника над уровнем моря – 77 м. Максимальная протяжённость отрезков линий от источника до приёмника через точку пересечения оптических осей приёмника и лазерного пучка составляла 11 км (назовём это расстояние протяжённостью линии связи).

Эксперименты проводились с августа по октябрь 2013 г. в тёмное время суток в условиях облачной (отдельные облачные образования, сплошная облачность) и безоблачной атмосферы и при осадках (дождь). В качестве информации, передаваемой по атмосферному бистатическому каналу для оценки качества связи, использовалось изображение графического тестового сигнала в виде периодической треугольной (без горизонтального катета) структуры.

Каждый эксперимент осуществлялся по следующей схеме (рис. 4). Фиксировалась одна из двух ориентаций передающего лазерного пучка с углом места $\alpha \approx 5$ и 15° при азимутальном угле $\varphi \approx 0^\circ$. Приёмный телескоп ориентировался в направлениях, соответствующих значениям угла α от 15 до 85° . Для контроля функционирования связи дополнительно осуществлялась соответствующая $\varphi \approx \pm 10^\circ$ ориентация передающего лазерного пучка. Длительность каждого сеанса связи при фиксированной геометрии эксперимента зависела от атмосферных условий и составляла от 7 до 30 мин. При этом передавалась и записывалась на компьютер информация (графический тестовый сигнал), содержа-

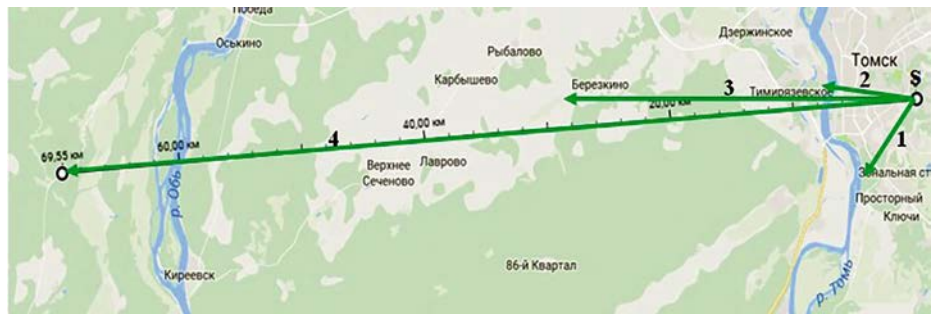
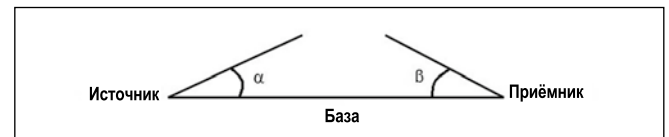


Рис. 2. Схема направлений лазерного луча на точки размещения приёмной ОЭСС (зелёные стрелки) в 2013–2016 гг.



Рис. 3. Кадры из видеозаписей: (а) – информационного лазерного луча, рассеянного на безоблачной трассе в атмосфере, (б) – рассеянного излучения, прошедшего облачное образование, и (в) – излучения, рассеянного на аэрозольных неоднородностях

Рис. 4. Геометрическая схема экспериментов



щая от 7 000 до 40 000 символов. Каждый эксперимент длился от 1 до 3 ч.

Контроль состояния атмосферного канала бистатической связи осуществить в полевых условиях практически невозможно. Поэтому для анализа влияния оптических и метеорологических условий на качество работы ОЭСС использовались следующие параметры:

- Метеорологическая дальность видимости S_M , которая измерялась с интервалом в 1 ч на территории Базового экспериментального комплекса ИОА СО РАН [4], удалённого от точки S (рис. 2) на расстоянии 12 км. Диапазон измерений S_M ограничивался сверху значением $S_M = 30$ км.

- Давление, влажность, концентрация аэрозоля (с размерами частиц более $0,3$ мкм), которые измерялись на ТОР-станции [5], размещённой на Высотной станции ИОА СО РАН (находится на расстоянии 400 м от излучателя бистатической ОЭСС).

- Коэффициент аэрозольного ослабления β_{ext}^a атмосферы на длине волны $\lambda = 0,5$ мкм, который определялся

на горизонтальной трассе (исходящей из здания, где был размещён передающий лазер ОЭСС) с помощью аппаратуры и по методике, описанными в [6–8].

3. Результаты экспериментов

Для оценки качества связи использовались вероятность p и её среднеквадратичное отклонение (СКО) σ ошибок за сеанс связи, при котором фиксировались все геометрические параметры схемы эксперимента. В [18] подробно описан алгоритм расчётов этих статистических характеристик в реальном масштабе времени (т.е. в момент проведения экспериментов).

Из статистических характеристик качества передачи информации следует, что причинами ошибок могут быть как атмосферные искажения, так и изменения характеристик приёмо-передающих оптико-электронных блоков (например, мощность лазерного излучения, шумы фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и т.п.).

Анализ вероятностей ошибок и их СКО показал, что некоторые сеансы связи характеризовались идеальным качеством связи, т.е. $p = 0$ и $\sigma = 0$ (например, 4 сентября) или близким к нему (например, 11 сентября), в других ситуациях значения p и σ достигали, соответственно, значений 0,8 и 0,9 (например, 29 сентября).

Для выяснения причин вариаций вероятностей ошибок p контролировались концентрация аэрозоля, коэффициенты пропускания, метеорологическая дальность видимости, температура, влажность и давление в приземном слое атмосферы.

Поскольку физическая основа бистатической связи – это эффект рассеяния, а в нём участвуют как аэрозольная, так и молекулярная составляющая атмосферы, то, прежде всего, нужно определить, какой из этих процессов определяет качество связи, или в проведённой серии экспериментов они в одинаковой мере влияли на качество связи. С этой целью сравнивались значения коэффициентов молекулярного рассеяния β_{sct}^m и коэффициентов аэрозольного рассеяния β_{sct}^a . Коэффициенты аэрозольного рассеяния определялись с помощью пакета *LOWTRAN-7* [9], коэффициенты молекулярного рассеяния рассчиты-

вались по формулам, приведённым в [10] с использованием данных о температуре и давлении, измеренных на ТОР-станции [5].

Из сравнения этих данных следует, что коэффициенты аэрозольного рассеяния значительно (почти на порядок) превышают коэффициенты молекулярного рассеяния, т.е. можно предполагать, что на безоблачных трассах именно аэрозольная составляющая атмосферы определяет качество передачи информации в бистатических ОЭСС, по крайней мере, на длине волны 510,6 нм. Анализ показал, что устойчивой корреляционной связи между значениями вероятностей ошибок и оптическими и метеорологическими характеристиками атмосферы вблизи передающей ОЭСС не установлено.

Другими источниками ошибок при передаче информации по атмосферным каналам связи, как уже отмечалось, может быть, изменение характеристик отдельных блоков аппаратуры. При выбранном способе информационной модуляции (время-импульсном) на качество приёма информации, прежде всего, влияет мощность лазерного излучения P , которая в эксперименте изменялась в диапазоне 4–6 Вт. При уменьшении P можно

ожидать ухудшения качества связи, т.е. увеличения вероятности ошибок p . Это подтверждается, например, сравнением значений p , полученных для экспериментов, выполненных 16 ($P = 6$ Вт) и 25 ($P = 2$ Вт) сентября 2013 г. В этих экспериментах $p = 0,01$ и $0,572$, соответственно, температура воздуха 25 сентября была равна $+14,7$ °С, а 16 сентября она была равна $-4,3$ °С, метеорологическая дальность видимости S_M 16 и 25 сентября превышала, соответственно, 30 и 7 км, а восстановленный из измерений коэффициент аэрозольного ослабления β_{ext}^a в 21:00 был равен $0,102$ км⁻¹ 16 сентября и $0,260$ км⁻¹ 25 сентября.

Поэтому, прежде чем назвать основную причину резкого изменения ошибок p (температура, мощность излучения лазера или аэрозольное ослабление), рассмотрим влияние температуры ФЭУ на качество связи в полевых экспериментах, выполненных в 2013 г.

Ответ на этот вопрос содержится в табл. 1, где приведены значения p и σ в зависимости от времени осуществления сеансов связи в 2013 г. Первый сеанс был проведён без принудительного охлаждения ФЭУ (начало сеанса – в 20:35), и его температура T соответствовала температуре окружающей

Таблица 1

Выборочные значения вероятностей ошибок связи и их СКО в экспериментах 01.10.2013 г.

Время	p	σ	Время	p	σ	Время	p	σ
20:35	0,538	0,565	20:55	0,053	0,065	21:08	0,043	0,060
20:36	0,277	0,308	20:56	0,046	0,059	21:09	0,035	0,069
20:37	0,221	0,252	20:57	0,054	0,065	21:11	0,030	0,041
20:38	0,143	0,163	20:58	0,089	0,103	21:12	0,041	0,054
20:39	0,114	0,135	20:59	0,103	0,120	21:13	0,033	0,051
20:48	0,043	0,061	21:02	0,064	0,082	21:14	0,026	0,035
20:49	0,060	0,079	21:03	0,055	0,063	21:15	0,026	0,039
20:50	0,068	0,086	21:04	0,041	0,054	21:16	0,029	0,043
20:51	0,083	0,106	21:05	0,039	0,060	21:17	0,031	0,049
20:53	0,069	0,081	21:06	0,040	0,054	21:18	0,030	0,047
20:54	0,039	0,054	21:07	0,035	0,046	21:20	0,024	0,040

среды, т.е. $T = +6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Второй и следующие сеансы были проведены при включённой холодильной установке, которая постепенно охлаждала ФЭУ до температуры $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 минут. Как видим, температура ФЭУ существенно влияет на качество связи, и изменение её от $+6,7$ до $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к уменьшению ошибок связи почти на порядок. Этот результат подтверждает известный результат влияния температурного режима на качество работы ФЭУ[11].

Первая серия экспериментов в 2016 г. была проведена при средней мощности лазерного источника 8,5 Вт и при установке приёмного телескопа в районе п. Березкино в 26 км от источника лазерного излучения (рис. 2, направление 3, протяжённость линии связи – 26,12 км). Эксперименты проводились при безоблачном небе (вдоль линии распространения лазерного пучка). Угол места оптической оси телескопа и угол места оси лазерного излучения составляли, соответственно, $\alpha \approx 5^{\circ}$ и $\beta \approx 10^{\circ}$. На рис. 5 приведён пример результатов оценок в реальном масштабе времени вероятностей ошибок p и s в этой серии экспериментов.

29 сентября 2016 г. была осуществлена загоризонтная оптико-электронная связь на рассеянном лазерном излучении при базе 69,5 км и протяжённости линии связи в 69,83 км. Средняя мощность источника лазерного излучения составляла 14 Вт, приёмник располагался в непосредственной близости от автомобильной трассы Томск-Новосибирск между посёлками Нашеково и Десятово (рис. 2, направление 4). Приёмником перехватывалось излучение, которое распространялось над г. Томском, р. Томью, р. Обью, Обским болотом и лесным массивом между ним и автомобильной трассой. Углы места оптической оси приёмника и оси излучения составляли, соответственно, $\alpha \approx 10^{\circ}$ и $\beta \approx 7^{\circ}$.

На рис. 6 приведены результаты оценок вероятностей ошибок и их СКО в этом эксперименте. Отсутствие на рис. 6 результатов во временном интервале 5–7 обусловлено тем, что в этот отрезок времени по трассе проходила колонна автотранспортных средств с включёнными яркими фарами дальнего света, рассеянное излучение которых (отсекающие фильтры отсутствовали) регистрировалось ФЭУ.

Рис. 5. Вероятности ошибок и их среднеквадратичные отклонения (СКО) в экспериментах 13 сентября 2016 г.

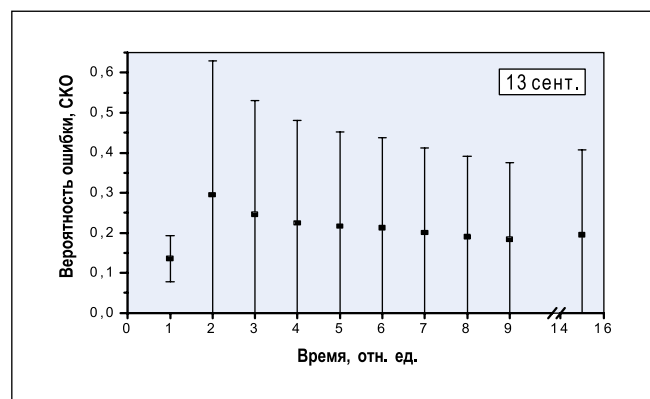


Рис. 6. Вероятности ошибок и их СКО в экспериментах 29 сентября 2016 г.

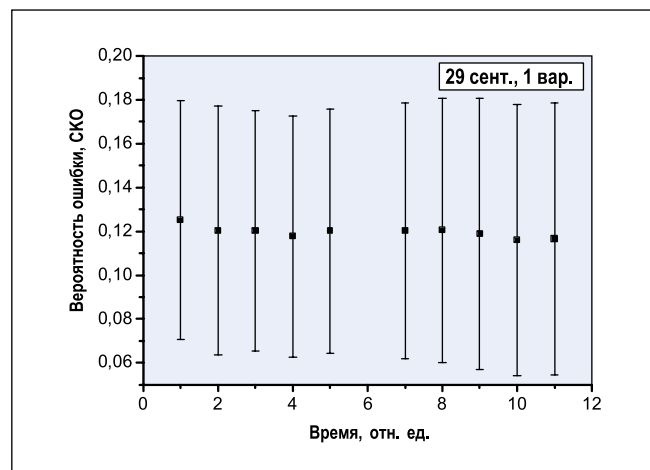
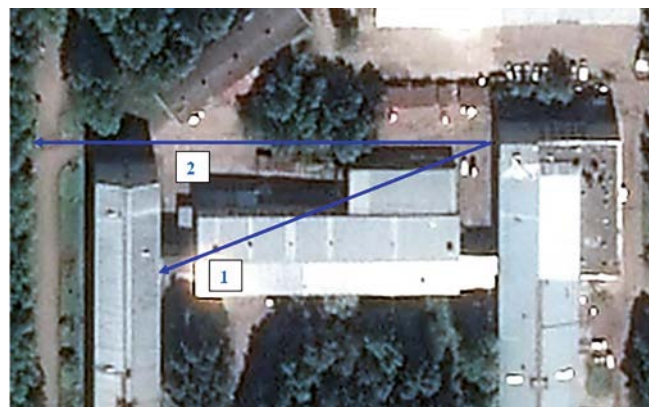


Рис. 7. Спутниковый снимок корпусов ИОА СО РАН и направления излучения стационарного лазерного УФ источника (стрелки 1, 2)



Внешними факторами, ограничивающими область применимости таких ОЭСС, являются помехи, связанные с естественными и искусственными источниками излучения в этом диапазоне длин волн. Поэтому их применение на атмосферных трассах может быть особенно затруднено в дневное время суток или в ночное время при интенсивных искусственных источниках (см. рис. 6, временной интервал 5–7).

Эта проблема исчезает или становится менее значимой, если в качестве источников излучения в ОЭСС использовать лазеры в УФ диапазоне длин волн и, прежде всего, в солнеч-

но-слепом диапазоне длин волн. Этим можно объяснить активность теоретических исследований в этом направлении [12–15], заметно усилившуюся в последнее десятилетие.

В экспериментах 2016 г. в качестве базовой была использована аппаратная реализация бистатической ОЭСС, которая испытывалась в видимом диапазоне длин волн и подробно описана в [16–18]. В ней в качестве первичного источника использовался стационарный лазер на бромиде меди (длина волны $\lambda = 510,6\text{ нм}$ при средней мощности 10 Вт), излучение которого через нелинейное преобразование на основе оптического кристал-

Рис. 8. Геометрические схемы первых экспериментов

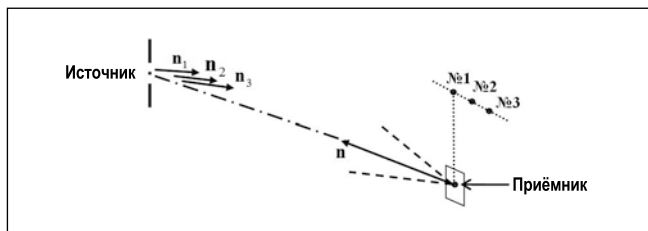


Рис. 9. Пример результатов оценивания качества связи в экспериментах по схеме на рис. 8 для точек 1 и 3

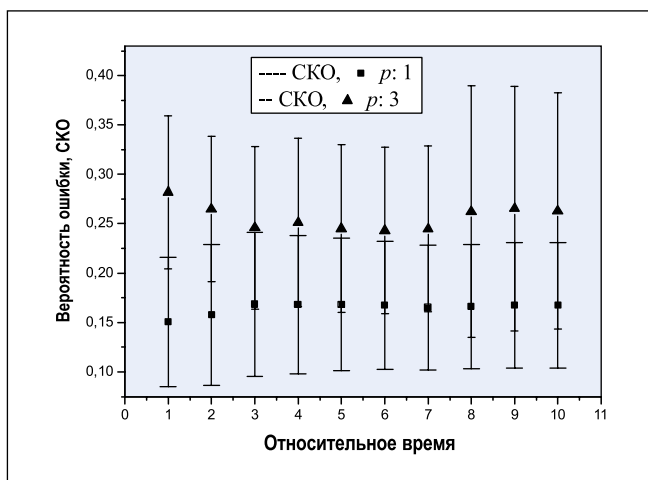
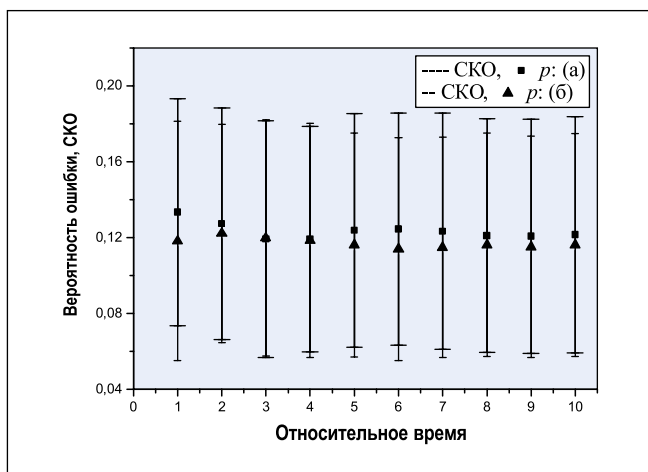


Рис. 10. Пример результатов оценки качества связи в экспериментах для направления излучения лазера, обозначенного на рис. 7 цифрой 2



ла ВВО (BaB_2O_4) преобразовывалось в излучение с длинами волн $\lambda = 255,3; 272,1$ и $289,1$ нм. В обсуждаемых ниже экспериментах использовались излучение на длине волны $289,1$ нм (средняя мощность $0,3$ Вт), частота повторения импульсов 14 кГц, длительность импульсов 30 нс, а сечение пучка на входе в атмосферу представляло собой квадрат со стороной 2 мм с равной $2,5^\circ$ полной угловой расходимостью по сторонам. Выбор этой длины волны был сделан на основе анализа рассеивающих и поглощающих свойств атмосферы в приземном слое. Приёмная оптическая система была собрана по схеме телескопа-рефрактора. Некоторые его характеристики: световой диаметр объектива 94 мм, материал – кварцевое стекло КУ-1, класс

однородности – 1, фокусное расстояние – 300 мм. Поле зрения приёмной системы – 2° . В качестве преобразователя оптического излучения в электрический сигнал использован ФЭУ 142. Эксперименты были проведены вдоль трасс 1 и 2, изображённых на спутниковом снимке корпусов ИОА СО РАН, приведённом на рис. 7. Стационарный лазерный источник располагался на 4 этаже северной башни корпуса А института (справа на рис. 7). В первой серии экспериментов излучение направлялось в сторону приёмника, размещённого в главном корпусе института (направление 1 на рис. 8). Стрелки 1 и 2 на рис. 7 – проекции на горизонтальную плоскость оптических осей лазерных пучков, использовавшихся в экспериментах.

На рис. 8 приведены геометрические схемы трёх серий этих экспериментов (вид сбоку). Приёмный телескоп размещался в помещении на третьем этаже корпуса ИОА и ориентировался на источник излучения. Излучение направлялось последовательно в точки 1, 2 и 3. Точка 1 соответствовала вектору направления n_1 и находилась на расстоянии 3 м над приёмником. Точкам 2 и 3 соответствовали вектора направлений n_2 и n_3 , и они отстояли от точки 1 на расстоянии, соответственно, 4 и 8 м. Эта геометрия исключала попадание нерассеянного излучения в объектив приёмного телескопа. Длина линий связи составляла $96,2; 96,26$ и $96,5$ м.

Вторая серия экспериментов была проведена, когда лазерное излучение направлялось в свободную атмосферу над главным корпусом ИОА под углом 2° к горизонту. Приёмный телескоп размещался на площадке за главным корпусом института под лучом 2 на рис. 7. Оптическая ось приёмника направлялась под углами от 15 до 110° к горизонту относительно направления на источник. Длина линий связи в этих экспериментах варьировалась от 100 до 108 м.

На рис. 9 приведены в качестве примера зависимости вероятностей ошибок и их СКО от номера серии экспериментов, выполненных 20 мая 2016 г. по схеме на рис. 8 для точек 1 и 3. Квадратами и треугольниками обозначены вероятности ошибок, а горизонтальными отрезками разных размеров верхние и нижние границы СКО для точек 1 и 2 соответственно.

Вероятности и их СКО, соответствующие точке 2 на рис. 8, у всех серий экспериментов лежат между значениями для точек 1 и 3. Из сравнения этих результатов следует, что качество связи ухудшается при увеличении протяжённости линии связи (последовательный переход от точки 1 к точке 3). Этот вывод становится достаточно очевидным, если учесть, что за 2 ч, в течение которых проводились эксперименты, оптические условия в приземной атмосфере по данным станции TOP [5] существенно не изменились.

Уровни полученных в экспериментах вероятностей ошибок связи и их СКО для направления распространения лазерного излучения, соответствующего цифре 2 на рис. 7, представлены на рис. 10. Для иллюстра-

ции полученных результатов в этих экспериментах выбраны две ситуации: (а) – оптическая ось приёмной системы ориентирована в полусферу направлений на источник под углом в 45° к горизонту, и (б) – эта ось ориентирована в полусферу направлений от источника под углом в 135° к горизонту. На рис. 10 по оси абсцисс приведено относительное время, соответствующее номеру серии экспериментов для ситуаций (а) и (б).

Из сравнения вероятностей ошибок и их СКО на рис. 9 и 10 можно сделать следующие выводы. Ситуации (а) и (б) характеризуются достаточно близкими значениями этих параметров. Это можно объяснить тем, что преобладающим источником рассеяния излучения на длине волны $\lambda = 289,1$ нм является молекулярная, а не аэрозольная составляющая атмосферы, для которой индикатриса рассеяния симметрична относительно направлений в переднюю и заднюю полусферу. Это приводит к тому, что при соответствующих ситуациях (а) и (б) геометрических параметрах линий связи рассеянные молекулами воздуха потоки становятся сравнимыми.

Возможной причиной этого может быть то, что эксперименты, проведенные для серии (б), выполнялись на 1,5 часа позже. Все эксперименты были проведены с 21 до 23 ч местного времени. Можно предположить, и это подтверждают данные станции TOP [5], что за это время концентрация аэрозоля уменьшилась и, начиная со времени проведения серии экспериментов для ситуации (а), оставалась почти постоянной. Поэтому и вариации значений вероятностей ошибок и их СКО на рис. 10 (кривая б) несколько меньше. В частности, изменения вероятности p в ситуации (а) не превышали 0,014141, модуля СКО – 0,01829, а в ситуации (б) – изменения p не превышали 0,008889, модуля СКО – 0,005541.

Представляет интерес сравнить качество связи в видимом и УФ диапазонах длин волн. Для этого обратимся к [16], где приведены примеры оценок вероятностей ошибок и их СКО, полученных в полевых экспериментах с лабораторным макетом бистатической ОЭСС на рассеянном лазерном излучении в видимом диапазоне длин волн ($\lambda = 510,6$ нм) при протяженности линий связи более 10 км. Из этого сравнения следует, что качество свя-

зи в видимом диапазоне существенно выше, чем в УФ. Казалось бы УФ диапазон предпочтительнее для качественной связи, т.к. помехи от солнечного излучения в этом случае существенно ниже. Однако, если учесть, что эксперименты проводились в сумеречное время суток, что мощность лазерного излучения в видимом диапазоне превосходила мощность в УФ диапазоне более чем в 15 раз и что применялись различные ФЭУ, то результат сравнения не может вызывать особых сомнений.

4. Выводы

Полевые эксперименты, выполненные в 2013–2016 гг. с целью оценки возможности и качества передачи информации по бистатическим ОЭСС на рассеянном лазерном излучении, позволяют сформулировать следующие общие и частные выводы.

1. Качественная бистатическая оптико-электронная связь в видимом диапазоне длин волн может осуществляться в условиях как облачной, так и безоблачной атмосферы.

2. При наличии облачности связь осуществима через области вхождения и рассеяния лазерного излучения на нижней границе сплошной облачности или на нижней и боковой границе одиночных облаков.

3. Статистические характеристики качества передачи информации по бистатическим атмосферным каналам (вероятности ошибок и их среднеквадратичные отклонения) зависят от мощности лазерного излучения (уменьшаясь пропорционально при её росте) и от чувствительности ФЭУ. Охлаждение использованного в экспериментах ФЭУ 84 с $+6,7$ до -17°C привело к уменьшению вероятности ошибок почти на порядок.

4. Анализ влияния оптического и метеорологического состояния атмосферы на статистические характеристики качества связи на длине волны 510,6 нм показал, что в схемах бистатической связи, когда перехват лазерного луча приёмной системой осуществляется в приземном слое атмосферы, оно определяется рассеянием излучения, которое зависит, в основном, от содержания в атмосфере аэрозоля и что максимальная база, при которой возможна устойчивая связь с вероятностями ошибок на уровне 0,1, может превышать 70 км.

5. Для исключения или уменьшения влияния аппаратных причин возникновения сбоев в работе загоризонтных ОЭСС условия проведения полевых экспериментов должны предусматривать гарантированную стабильность мощности передатчика излучения и постоянную температуру ФЭУ.

6. Полевыми экспериментами подтверждена возможность создания и качественного функционирования бистатических многоадресных ОЭСС в УФ диапазоне длин волн с дальностью действия, превышающей сотни метров.

7. При базовых расстояниях до сотен и более метров оптико-электронная связь в УФ диапазоне возможна как при ориентации оптической оси приёмной системы в направлении на источник с углами к горизонту более 10° , так и в направлении от источника до углов наклона оси оптической приёмной системы к горизонту до $30-40^\circ$.

8. Результаты, представленные в работе, требуют дальнейшего уточнения в рамках последующих экспериментальных и теоретических исследований с целью установления основных причин, влияющих на качество связи и области дальнего действия бистатических ОЭСС по оптико-геометрическим характеристикам и параметрам схем их реализаций.

Авторы благодарны Белову Д.В. за участие в экспериментах и решение проблемы охлаждения ФЭУ и Протасовой В.П. за техническое оформление работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н., Иванов В.В., Федосов А.В., Троицкий В.О., Шиянов Д.В. Атмосферные бистатические каналы связи с рассеянием. Часть 1. Методы исследования // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 4. – С. 261–267.
2. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троицкий В.О., Филонов А.Г., Шестаков Д.Ю. Лазер на бромиде меди с компьютерным управлением импульсно-периодического, цугового и ждущего режимов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 6. – С. 119–122.
3. Белов В.В., Матвиенко Г.Г., Пак Р.Ю., Шиянов Д.В., Кирпиченко Р.Ю., Курячий М.И., Пустынский И.Н., Шурыгин Ю.А. Активные ТВ-системы видения

с селекцией фонов рассеяния // Датчики и системы. – 2012. – № 3. – С. 25–30.

4. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Задде Г.О. Оптическая погода. – Новосибирск: Издательство «Наука» СО РАН. 1990. 192 с.

5. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачёв Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20, № 1. – С. 53–61.

6. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н. Статистический метод разделения коэффициентов общего ослабления ИК радиации на компоненты // Оптика атмосферы и океана. – 1988. – Т. 1, № 10. – С. 3–11.

7. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Автоматизированный многоволновой измеритель спектральной прозрачности приземной атмосферы // Оптика атмосферы и океана. – 1992. – Т. 5, № 6. – С. 667–671.

8. Ужегов В.Н., Ростов А.П., Пхалагов Ю.А. Автоматизированный трассовый фотометр // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, № 7. – С. 590–594.

9. Kneizys, F.X., Shettle, E.P., Anderson, G.P., Abreu, L.W., Chetwynd, J.H., Selby, J.E.A., Clough, S.A., Gallery, W.O. User Guide to LOWTRAN-7. – ARGL-TR-86-0177. ERP 1010. Hansom AFB. MA 01731.

10. Bucholtz, A. Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere // Applied Optics. – 1995. – Vol. 34, No. 15. – P. 2765–2773.

11. Соболева Н.А., Меламид А.Е. Фотозлектронные приборы. – М.: Высшая школа, 1974. 376 с.

12. Пожидаев В.Н. Осуществимость линий связи ультрафиолетового диапазона, основанных на эффекте молекулярного и аэрозольного рассеяния в атмосфере // Радиотехника и электроника. – 1977. – Т. 22, № 10. – С. 2190–2192.

13. Ding, H., Chen, G., Majumdar, A.K., Sadler, B.M., Xu, Z. Modeling of non-line-of-sight ultraviolet scattering channels for communication // IEEE journal on selected areas in communications. – 2009. – Vol. 27, No. 9. – P. 1535–1544.

14. Han, D., Fan, X., Zhang, K., Zhu, R. Research on multiple-scattering channel with Monte Carlo model in UV atmosphere

communication // Applied optics. – 2013. – Vol. 52, No. 22. – P. 5516–5522.

15. Xiao, H., Zuo, Y., Wu, J., Li, Y., Lin, J. Non-line-of-sight ultraviolet single-scatter propagation model in random turbulent medium // Optics letters. – 2013. – Vol. 38, No. 17. – P. 3366–3369.

16. Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н., Иванов В.В., Федосов А.В., Гриднев Ю.В., Троицкий В.О., Димакки В.А. Атмосферные бистатические каналы связи с рассеянием. Часть 2. Полевые эксперименты 2013 г. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 8. – С. 659–664

17. Belov, V.V., Tarasenkov, M.V., Abramochkin, V.N. Bistatic Atmospheric Optoelectronic Communication Systems (Field Experiments) // Technical Physics Letters. – 2014. – Vol. 40, No. 10. – P. 871–874.

18. Belov, V.V., Tarasenkov, M.V., Abramochkin, V.N., Troitskii, V.O. Over-the-horizon Optoelectronic Communication Systems // Russian Physics Journal. – 2014. – Vol. 57, No. 7. – P. 202–208.



Абрамочкин Владимир Николаевич, к.ф.-м.н. Закончил Военно-воздушную инженерную академию им. Н.Е. Жуковского (1992 г.). Старший научный сотрудник Института оптики ат-

мосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск. Область научных интересов: оптико-электронная связь



Гриднев Юрий Владимирович. Закончил Томский политехнический университет (1981 г.). Научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск.

Область научных интересов: системное программирование



Тарасенков Михаил Викторович, к.ф.-м.н. Закончил Томский государственный университет (2007 г.). Старший научный сотрудник Института оптики атмосферы им.

В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск. Область научных интересов: анализ закономерностей формирования изображений через атмосферу, атмосферная коррекция изображений в видимом и УФ-диапазонах, теоретическое исследование каналов связи вне прямой видимости



Белов Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ. Закончил Томский государственный университет (1971 г.). Заведующий лабораторией РОС Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО

РАН, г. Томск. Область научных интересов: теория переноса оптического излучения в рассеивающих и поглощающих средах, теория лазерного зондирования, теория видения, атмосферная коррекция аэрокосмических изображений земной поверхности, метод Монте-Карло, многократное рассеяние



Кудрявцев Андрей Николаевич. Закончил Томский университет радиоэлектроники и управления (2003 г.). Ведущий электроник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева

СО РАН, г. Томск. Область научных интересов: измерители мощности лазеров, устройства стробирования лазера, электронные схемы, пилс, микроконтроллеры, содапы



Федосов Андрей Васильевич. Закончил Радиомонтажное училище. Техник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск. Область научных интересов: электроника

Особенности формирования цветности излучения дисперсий квантовых точек *CdSe/CdS/ZnS* в многокомпонентных системах¹

Е.М. АНТИПОВ², С.Л. КОРЯКИН², Е.Ю. МАКСИМОВА¹, С.А. ПАВЛОВ¹,
Н.Е. ШЕРСТНЕВА¹

¹Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

E-mail: maksimovalkm@yandex.ru

Аннотация

Квантовые точки на основе *CdSe/CdS/ZnS* в последнее время находят широкое применение в технике и в целом ряде технологий, в частности, связанных со светодиодными источниками света, светоконвертирующими материалами, люминесцентными экранами и видеомониторами. В ряде случаев возникает необходимость создания цветности излучаемого света путём смешения дисперсий квантовых точек с различными оптическими свойствами. Наличие сильного и широкого поглощения, распространяющегося от пика поглощения экситона Бора вплоть до УФ области спектра, приводит к нарушению принципа аддитивности при формировании цветности излучения. Установлено, что положение максимума пика эмиссии индивидуального компонента зависит от концентрации квантовых точек в дисперсии. Также установлено, что на цветность дисперсии оказывает влияние не только соотношение компонентов, но степень разбавления исходной смеси.

Ключевые слова: квантовые точки *CdSe/CdS/ZnS*, пик эмиссии, пик экситонного поглощения, люминесцирующие слои.

В настоящее время всё большее распространение получает практическое применение нового поколения люминофоров на основе коллоидных материалов на основе *CdSe/CdS/ZnS*

(квантовых точек). Так, в частности, указанные квантовые точки находят применение в технологиях светодиодных источников света, светоконвертирующих материалов для солнечных элементов, укрывных материалов для теплиц, люминесцентных экранов различного назначения и видеомониторов, а также в некоторых других.

В большинстве практических применений квантовых точек возникает необходимость создания необходимого цвета люминесцентного излучения путём смешения дисперсий квантовых точек в определённых пропорциях. В настоящее время установлено, что цвет самосветящихся объектов в отсутствие эффектов самопоглощения и реабсорбции может быть определён путём аддитивного сложения интенсивностей излучения с присущим им спектральным профилем распределения (см., например, [1–3]). Некоторые аспекты колористики люминесцирующих слоёв, содержащих квантовые точки, в ситуации, когда указанными процессами можно пренебречь, рассмотрены нами ранее в работах [4–6]. Вместе с тем, указанные квантовые точки характеризуются широкой полосой поглощения, распространяющейся от пика экситонного поглощения вплоть до области ближнего ультрафиолета. Таким образом, при введении в дисперсию квантовых точек с различными максимумами пика люминесценции неизбежно оказывается, что компонент с меньшей длиной волны эмиссии по-

падает в зону поглощения компонента с большей длиной волны. При этом нарушается принцип аддитивности в процессе формирования цветности излучаемого света.

Будем считать, что люминесцирующий образец дисперсии квантовых точек, характеризуется следующими свойствами. Во-первых, поглощение в данной среде подчиняется закону Бугера-Бера и, вследствие малого размера нанокристаллов, рассеяние в дисперсии мало. Во-вторых, интенсивность излучения света образцом пропорциональна интенсивности возбуждающего излучения и квантовому выходу люминесценции. И, наконец, в-третьих, оптическая плотность раствора мала и, соответственно, интенсивность эмиссии оказывается пропорциональной концентрации каждого отдельно взятого компонента во всём использованном диапазоне концентраций. Интенсивность эмиссии в такой ситуации оказывается зависящей только от эффекта реабсорбции. Математическое выражение, ориентировочно учитывающее этот эффект, см., например, в [7].

Мы использовали квантовые точки, люминесцирующие в различных областях видимого спектра, синтез которых проводили в лабораториях авторов. Синтезированные квантовые точки состояли из ядра *CdSe* с внешней оболочкой на основе *ZnS/CdS*. Синтез проводили [8] в дисперсии в высококипящем органическом растворителе в атмосфере аргона. Для получения указанных ядер *CdSe* проводили нагрев смеси олеата *Cd* (0,1 М) и октадецена (20 мл) до температуры 270 °С, после чего в реакционную смесь вводили раствор *Se* в октадецене (0,1 М). Далее снижали температуру до 230 °С, выдерживали в течение нескольких часов и отмывали от непрореагировавших прекурсоров с помощью этанол-бутанольной смеси (состава 3:2) до начала выпадения осадка. Полученный осадок диспергировали в толуоле.

Далее проводили послойное наращивание оболочки состава *CdS/ZnS* [9] путём смешивания олеата *Cd* и октадецена при температуре 230 °С и добавления растворов серы, олеата *Cd* и олеата *Zn*. Расчёт необходимых количеств прекурсоров проводили с учётом диаметра и концентрации ядер *CdSe* [10]. Отмывку полученных квантовых точек проводили эта-

¹ Настоящая статья по полученным результатам и возможности их использования представляет определённый интерес и определённую новизну. В связи с этим редакцией принято решение об опубликовании её в настоящем номере, несмотря на некоторые, по мнению редакции, не вполне ясные и понятные места. В частности, в описании методики и проведения спектральных измерений («интенсивность люминесценции», «возбуждающий луч», «ширина щели монохроматора...3 нм», «ширина щели приёмника...1 нм» и др.). – Прим. ред.

Рис. 1.
Экспериментальные спектры поглощения (а) и эмиссии (b) квантовых точек с различными оптическими свойствами. Пиковые длины волн люминесценции: 1–630 нм; 2–570 нм; 3–540 нм; 4–440 нм

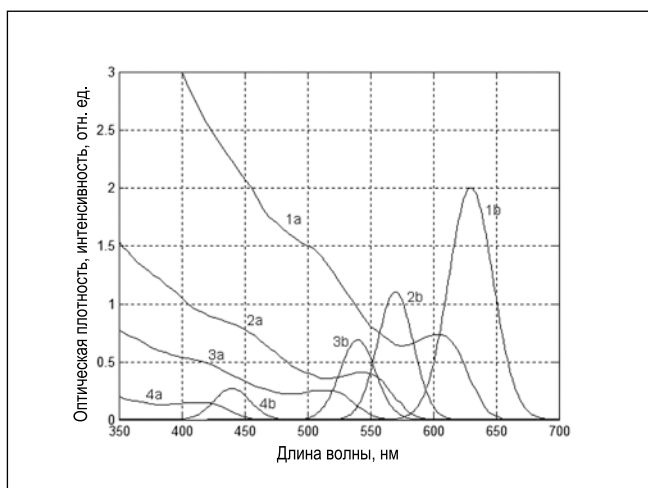
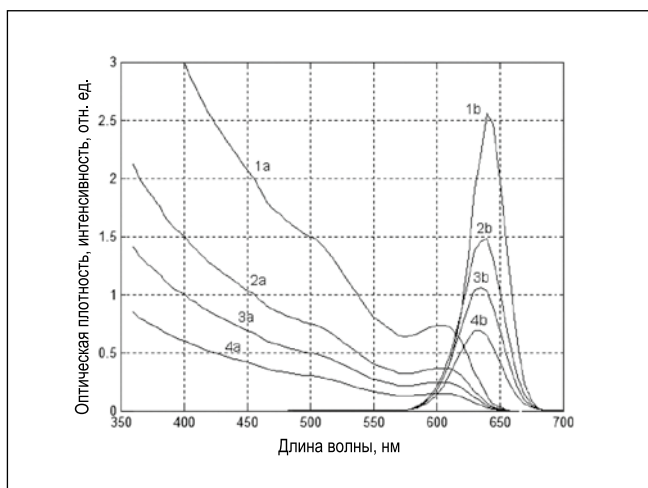


Рис. 2.
Экспериментальные спектры поглощения (а) и эмиссии квантовых точек (b) с пиковой длиной волны люминесценции около 630 нм при различных степенях разбавления исходной дисперсии (1): 2 – в 2 раза; 3 – в 3 раза; 4 – в 5 раз



нолом с последующим центрифугированием.

Квантовые точки с максимумом люминесценции в зелёной области спектра были синтезированы на основе ядер $CdSe/ZnSe$ с оболочкой ZnS . Ядра $ZnSe$ предварительно получали инжектированием раствора диэтилцинка в октадецене, раствора Se в триоктилфосфине в реакционный объём с гексадециламином при $310\text{ }^\circ C$. Ядра выращивали при температуре $250\text{ }^\circ C$ до появления эмиссии с максимумом на 350 нм . После этого температура раствора снижалась до $150\text{ }^\circ C$ и вводилась в раствор триоктилфосфиноксида и гексилфосфоновой кислоты. Одновременно проводилось введение диметилкадмия, раствора Se в триоктилфосфине в раствор $ZnSe$. Результирующий раствор выдерживался при $150\text{ }^\circ C$ пока не появлялся пик эмиссии на 540 нм .

Полученные ядра переосаждались по приведённой выше методике. Затем дисперсия вводилась в смесь триоктилфосфина и гексафосфоновой кислоты, упаривалась в вакууме, пере-

осаждалась, как указано выше, и редиспергировалась в хлороформе.

Квантовые точки с эмиссией с сильной области спектра [11] получали введением раствора олеиламина и молекулярной серы в инертной атмосфере в объём, содержащий раствор CdO и ZnO в олеиновой кислоте и октадецене при $300\text{ }^\circ C$. Далее раствор выдерживался при $270\text{ }^\circ C$ в течение 45 мин. После охлаждения ядра переосаждались в ацетоне и выделялись путём центрифугирования с последующим редиспергированием в хлороформе.

Наращивание оболочки ZnS на полученные ядра существенно повышает квантовый выход люминесценции. Нарастивание производится в смеси олеиламина и октадецена при температуре $200\text{ }^\circ C$ путём взаимодействия с диэтилатом цинка и гексаметилдисилилтиана в триоктилфосфине. Полученные квантовые точки переосаждались по стандартной методике. Процедура наращивания оболочек существенно усиливает интенсивность люминесценции, но ширина пика излучения нанокристаллов остаётся пра-

ктически неизменной [13] или даже несколько уменьшается.

Некоторые свойства синтезированных квантовых точек приведены в таблице.

Характеристический размер нанокристалла квантовой точки d , который достигался в ходе синтеза, чтобы получить заданную длину волны пика люминесценции, связан с длиной волны поглощения λ эмпирическим соотношением [3, 12]

$$d = 1,6122 \cdot 10^{-9} \lambda^4 - 2,6575 \cdot 10^{-6} \lambda^2 + 1,6242 \cdot 10^{-3} \lambda^2 - 0,4277 \cdot \lambda + 41,57, \text{ нм}, \quad (1)$$

где λ – в нм, и при этом показатель экстинкции ε в максимуме экситонного поглощения можно определять по выражению

$$\varepsilon = 5857 \cdot d^{2,65}, \text{ М}^{-1} \text{ см}^{-1}. \quad (2)$$

А с учётом принятых выше допущений оптическая плотность D слоя толщиной L нами оценивалась по формуле

$$D \approx \varepsilon CL, \quad (3)$$

где C – концентрация дисперсии квантовых точек (в подходящем растворителе).

Наращивание оболочек существенно усиливает интенсивность люминесценции, но ширина пика и поглощающая способность ядер остаются практически неизменными [13].

Для измерений были использованы дисперсии в неполярном растворителе – толуоле. Измерение относительной спектральной плотности интенсивности излучения, эммитируемого дисперсией квантовых точек $E_{ei}(\lambda)$, проводили на флуориметре *Cary Eclipse (Varian)* с использованием стандартной кварцевой кюветы $10 \times 10\text{ мм}$ в диапазоне длин волн $350\text{--}700\text{ нм}$. Пиковую длину волны возбуждения устанавливали в области $350\text{--}400\text{ нм}$. Это позволяло одним возбуждающим лучом получать эмиссию во всём исследуемом диапазоне. Интенсивность люминесценции регистрировали под углом 90° к направлению возбуждающего луча. Ширину щели монохроматора источника возбуждающего излучения устанавливали

Характеристики использованных в данной работе квантовых точек

№	Пиковая длина волны люминесценции, нм	Квантовый выход, %	Состав
1	630	85	CdSe/CdS/ZnS
2	570	75	CdSe/CdS/ZnS
3	540	60	CdZnSe/ZnS
4	440	55	ZnSe/CdS/ZnS

равной 3 нм. Ширину щели приёмника устанавливали 1 нм. Относительная погрешность в измерении контура пика люминесценции по паспорту прибора составляла не более 0,5%. Спектры поглощения регистрировали на спектрофотометре *Specord 210* в той же спектральной области. Детали стандартной настройки приборов подробно описаны в инструкциях по их эксплуатации.

На рис. 1 приведены экспериментальные спектры поглощения и люминесценции квантовых точек, полученных указанным выше образом. Видно, что эмиссионные пики квантовых точек с длиной волны менее 630 нм лежат в областях интенсивного поглощения нанокристаллов с большей длиной волны, испытывая влияние эффектов самопоглощения и реабсорбции, связанных как с присутствием нанокристаллов другого размера, так и с эффектом самопоглощения. На рис. 2 приведены экспериментальные кривые поглощения и эмиссии для дисперсии при различной степени разбавления частиц одного характеристического размера. Видно, что форма пика эмиссии определённым образом зависит от самопоглощения, так как он попадает как в зону экситонного поглощения, так и частично в антистоксовскую область. В связи с этим при разбавлении образца максимум люминесценции смещается в коротковолновую область примерно на 10 нм. На рис. 3 представлены экспериментальные спектры эмиссии смеси двух видов квантовых точек с максимумами пика эмиссии на длинах волн 630 и 570 нм.

Координаты цвета (X , Y , Z) и цветности (x , y , z) излучения описанных выше самосветящихся объектов-стимулов определялись по измеренным спектральным функциям $E_{e\lambda}(\lambda)$ стандартным образом [14–16].

Построение диаграммы цветности (по системе МКО 31) показало, что одним из наиболее интересных колористических эффектов в рассматриваемых системах является зависимость цветности, полученной для некоего заданного состава от степени его разбавления (рис. 4). Точками на диаграмме обозначены координаты цветности излучения смесей квантовых точек с пиковыми длинами волн люминесценции 630 и 570 нм, 570 и 470 нм и 470 и 440 нм. Видно, что благодаря достаточно узким пикам люми-

Рис. 3. Экспериментальные спектры эмиссии смеси двух видов квантовых точек с пиковыми длинами волн люминесценции 630 и 570 нм при разбавлении исходной дисперсии (1) в: 2 раза (2), 3 раза (3) и в 5 раз (4)

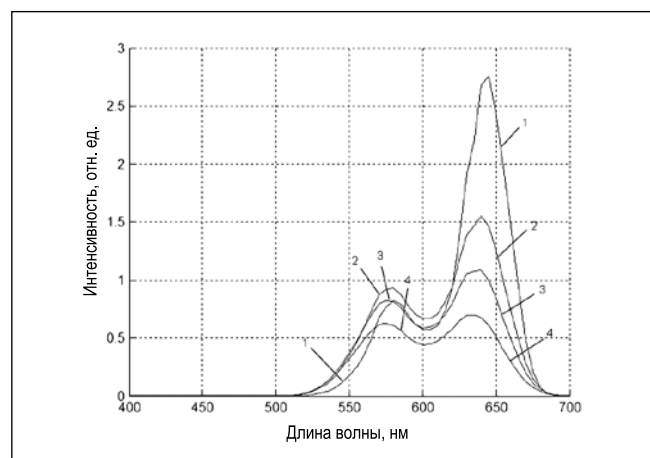
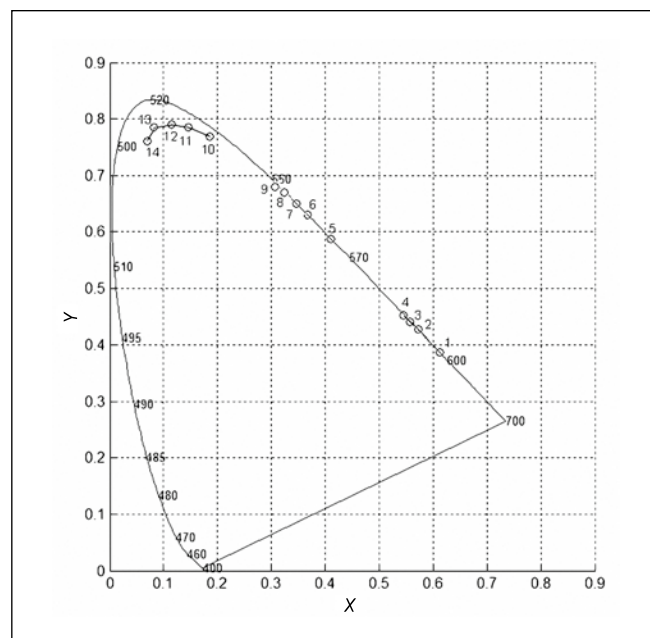


Рис. 4. Изменение цветности излучения дисперсии квантовых точек различного состава в ходе разбавления исходной смеси. Используются следующие смеси квантовых точек: 1 – с максимумами люминесценции на 630 и 570 нм, степень разбавления 2, 3, 5 раз соответственно; 5 – с максимумами люминесценции на 570 и 470 нм, 5, 6, 7, 8, 9 – разбавление в 2, 3, 4, 5 и 7 раз; 10 – с максимумами люминесценции на 470 и 440 нм, 11, 12, 13, 14 – разбавление в 2, 3, 4, 5 раз



несценции координаты цветности лежат вблизи кривой локуса. В процессе разбавления использованных смесей точки цветности смещаются вдоль кривой локуса в синюю область. Это связано с уменьшением вклада эффекта реабсорбции с уменьшением концентрации фотоактивного компонента в дисперсии. При этом измеренные колористические эффекты достаточно велики для обычного наблюдателя.

Таким образом, установлено, что аддитивность в сложении цветов для рассматриваемого самосветящегося объекта не соблюдается, причём отклонения от аддитивности тем сильнее, чем выше концентрация дисперсии. Здесь для прогнозирования цветности следует учитывать спектр поглощения каждого компонента, поглощающего и люминесцирующего с своей области спектра. При этом ко-

эффиценты экстинкции могут, в первом приближении, оцениваться по выражениям (1)–(3), а искажение формы пика эмиссии можно приближённо оценивать по уже упомянутому ориентировочному выражению, учитывая эффект реабсорбции. При этом форма пика оказывается также зависящей от концентрации индивидуального компонента.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0064 (уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57414X0064).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич М.М. Фотометрия. Теория, методы и приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
2. Шашлов В.А. Цвет и цветовоспроизведение. – М.: Издательство МГАП «Мир книги», 1995. – 315 с.
3. William Yu W.W., Qu L., Guo W., Peng X. Experimental Determination of the Extinction Coefficient of CdTe, CdSe, and CdS Nanocrystals // Chem. Mater. – 2003. – Vol. 15, No. 14. – P. 2854–2860.
4. Павлов С.А., Максимова Е.Ю., Корякин С.Л., Шерстнева Н.Е., Антипов Е.М. Оценка светимости субпикселей люминесцентного видеомонитора на основе квантовых точек CdSt/CdS/ZnS // Российские нанотехнологии. – 2016. – Т. 11, № 1–4. – С. 64–68.
5. Павлов С.А., Крикушенко В.В., Антипов Е.М., Воронец Н.Б., Максимова Е.Ю., Шерстнева Н.Е., Корякин С.Л. Светоотдача и эффективность флуоресценции полимерных слоёв, содержащих коллоидные полупроводниковые люминофоры на основе квантовых точек CdSe/CdS/ZnS // Оптика и спектроскопия. – 2015. – Т. 119, № 2. – С. 153–157.
6. Павлов С.А., Антипов Е.М., Максимова Е.Ю., Шерстнева Н.Е., Корякин С.Л. Особенности процесса светоконверсии укрывными материалами, содержащими квантовые точки и их применение в сельском хозяйстве // Российские нанотехнологии (в печати).
7. Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я. Физико-химические основы фотобиологических процессов. – М.: Высшая школа, 1989. – С. 34–46.
8. Capek R.K., Moreels I., Lambert K., Muynck D. De, Zhao Q., Tomme A.V., Vanhaecke F., Hens Z. Optical Properties of Zincblende Cadmium Selenide Quantum Dots // J. Phys. Chem. C. – 2010. – Vol. 114. – P. 6371–6376.
9. Li J.J., Wang Y.A., Guo W., Keay J.C., Mishima T.D., Johnson M.B., Peng X. Large-Scale Synthesis of Nearly Monodisperse CdSe/

CdS Core/Shell Nanocrystals Using Air-Stable Reagents via Successive Ion Layer Adsorption and Reaction // J. Amer. Chem. Soc. – 2003. – Vol. 125. – P. 12567–12575.

10. Reiss P., Protiere M., Liang L. Core/Shell Semiconductor Nanocrystals // Small. – 2009. – Vol. 5, iss. 2. – P. 154–168.

11. Erol Kuc E., Ziegler J., Nann T. Synthesis and Spectroscopic Characterization of Fluorescent Blue-Emitting Ultrastable CdSe Clusters // Small. – 2008. – Vol. 4, No. 7. – P. 883–887.

12. Гапоненко С.В., Розанов Н.Н., Ивченко Е.Л., Фёдоров А.В., Баранов А.В., Бонч-Бруевич А.М., Вартамян Т.А., Пржибельский С.Г. Оптика наноструктур. – СПб: «Недра», 2005. – 326 с.

13. Сперанская Е. С., Гофман В.В., Дмитриенко А.О., Дмитриенко В.П., Акмаева Т.А., Потапкин Д.В., Горячева И.Ю. Синтез гидрофобных и гидрофильных квантовых точек ядро – оболочка // Известия Саратовского университета. Нов. сер. – 2012. – Т. 12. Сер. Химия. Биология. Экология, вып. 4. – С. 3–10.

14. Публикация МКО 1931 г. Метод определения координат цветности источников света.

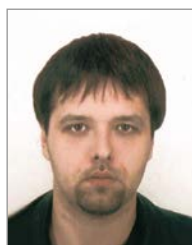
15. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.

16. Цвет в промышленности / Под ред. Р. Мак-Дональда. Гл. 7. Цвет в видеодисплеях. – М.: Логос, 2002. – С. 401–457.



Антипов Евгений Михайлович, доктор хим. наук, профессор. Окончил в 1972 г. МИФИ. Зав. кафедрой химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов

и покрытий Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева и зам. декана по научной работе факультета фундаментальной физико-химической инженерии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: реология высокомолекулярных соединений, полимерные композиционные покрытия.



Корякин Сергей Леонидович, химик. Окончил в 2014 г. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Техник кафедры химической техно-

логии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий этого вуза. Аспирант факультета фундаментальной физико-химической инженерии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: полимерные композиционные лакокрасочные материалы и покрытия, антикоррозионные материалы специального назначения



Максимова Елена Юрьевна, химик. Окончила в 1982 г. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Зав. лабораторией кафедры химиче-

ской технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий этого вуза. Область научных интересов: полимерные композиционные лакокрасочные материалы и покрытия, реология высокомолекулярных соединений



Павлов Сергей Алексеевич, доктор хим. наук, профессор. Окончил в 1976 г. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Гл. специалист ка-

федры химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий этого вуза. Область научных интересов: реология высокомолекулярных соединений, использование коллоидных люминофоров («квантовых точек») в полимерных композиционных покрытиях, материалы для оптических устройств вывода информации



Шерстнева Наталья Евгеньевна, химик. Окончила в 2010 г. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Инженер кафедры

химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий этого вуза. Область научных интересов: полимерные композиционные лакокрасочные материалы и покрытия, реология высокомолекулярных соединений

Простой способ увеличения зрительного комфорта в установках внутреннего освещения посредством уменьшения показателя дискомфорта блёскости¹

А. КАМАЛЬ АД-ДИН¹, М. ФАРАМАРЦИ²

¹ Курдистанский медицинский университет, Сенендедж, Иран. Email: kamal.abedi@gmail.com

² Занянский медицинский университет, Занян, Иран. E-mail: fma6662000@yahoo.com

Аннотация

В настоящее время для оценки дискомфорта блёскости применяют, главным образом, показатель дискомфорта блёскости (DGR)² и обобщённый показатель блёскости (UGR), значения которых рассчитывают с использованием 4-х параметров: размера светящейся поверхности светильника, положения светильника относительно наблюдателя, яркости фона и количества и местоположения светильников. В статье предложено простое решение, позволяющее уменьшить DGR и, тем самым, увеличить вероятность зрительного комфорта (VCP) в установках внутреннего освещения. Предложенное решение основано исключительно на изменении площадей светящихся поверхностей светильников без изменения других параметров, таких как сила света и количество и местоположение светильников в осветительной установке. Для этого вначале формулы для расчёта DGR были преобразованы применительно к рассматриваемому светильнику, а затем при помощи преобразованных формул была рассчитана площадь светящейся поверхности нового светильника, обеспечивающая уменьшение DGR и увеличение VCP . И наконец, благодаря некоторому изменению местоположения светильников, вносящих основной вклад в DGR , было достигнуто значительное увеличение VCP .

Ключевые слова: DGR , VCP , внутреннее освещение, площадь светящейся поверхности светильника.

1. Введение

Блёскость – это всем известное явление, которое, однако, нелегко описать при помощи технических терминов [1–4]. Североамериканское светотехническое общество ($IESNA$) связывает блёскость с наличием одного из двух факторов [5, 6]:

1. Слишком большого количества света или

2. Чрезмерного контраста, то есть слишком сильного изменения яркости в поле зрения.

Хотя уже имеется целый ряд метрик, таких как показатель дискомфорта блёскости (*discomfort glare rating* – DGR), обобщённый показатель блёскости (*unified glare rating* – UGR), британский показатель блёскости (*British glare index* – BGI), Корнелльский показатель блёскости (*Cornell glare index* – CGI), прогнозируемое восприятие

блёскости (*predicted glare sensation vote* – $PGSV$) и вероятность зрительного комфорта (*visual comfort probability* – VCP), существующие модели всё ещё нуждаются в подтверждении, или следует разработать новую надёжную метрику [7–10].

Для оценки блёскости нельзя измерять свет в люксах. Вместо этого следует использовать яркость, которая сильнее влияет на блёскость и обычно измеряется в канделах на квадратный метр ($кд/м^2$) [6, 11, 12]. На практике в хорошем проекте освещения свет диффузно распределён в пространстве, а светильники не попадают в поле зрения или снабжены экранами для уменьшения яркости [6, 13]. Уменьшение яркости приводит к уменьшению DGR и, как следствие, к увеличению VCP [14]. Значение VCP прогнозирует количество людей, которые сочтут освещение приемлемым в части дискомфорта блёскости [13, 15]. Производители предоставляют таблицы VCP для большинства светильников, составленные применительно к находящемуся в определённом месте наблюдателя, линия зрения которого направлена горизонтально в заданном направлении. В случае внутреннего освещения значение VCP зависит от размеров помещения, коэффициента отражения, типа и расположения светильников и количества светильников в поле зрения [5, 7, 10, 15–17].

В 1949 г. Ликеш и Гут провели комплексное исследование, заложившее основу для разработки показателя VCP . Они назвали основанную на результатах этого исследования метрику «границей между комфортом и дискомфортом» [18]. В 1963 г. Гут предложил метод расчёта DGR , основанный на результатах его десятилетних исследований дискомфорта блёскости и работах других авторов [19]. Несмотря на многочисленные изменения и упрощения, внесённые в период с 1963 по 2000 г., VCP и DGR всё ещё нуждаются в улучшении [9, 20, 21]. В данной работе описан способ увеличения VCP посредством уменьшения DGR в установках внутреннего освещения только в результате изменения площадей светящихся поверхностей светильников без внесения изменений в расположение светильников и в создаваемое ими освещение. Для этого использовался предложенный $IESNA$ метод расчёта внутреннего освещения [5], основы которого были заложены в [22]. Основной задачей данного исследования было установление прямой связи между индексом восприятия (*index sensation*) M и площадью светящейся поверхности светильника A , так чтобы изменяя A и M можно было изменять и DGR в конкретной установке внутреннего освещения. Площадь светящейся поверхности светильника была выбрана потому, что изменение любых других параметров приведёт к искажению осветительной установки.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

² Показатели DGR и VCP , не используемые в отечественной практике, описаны в: Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М: Знак, 2006. – С. 350.

2. Математические расчёты

Предлагаемая методика уменьшения DGR в помещении основана на индексе восприятия M , который в случае одного светильника определяется по формуле [5]:

$$M = \frac{L_s Q}{P F^{0.44}}, \quad (1)$$

где L_s – средняя яркость источника блёскости (светильника), $\text{кд}/\text{м}^2$; Q – параметр, зависящий от наблюдаемого размера источника блёскости; P – индекс позиции источника блёскости по отношению к линии зрения, который рассчитывают применительно ко всем светильникам, попадающим в поле зрения; F – средняя яркость поля зрения [5, 15].

Среднюю яркость L_s рассчитывают по формуле [5]:

$$L_s = \frac{I}{A}, \quad (2)$$

где I – сила света, кд ; A – площадь светящейся поверхности светильника, которую видит наблюдатель.

Формула для расчёта P [5, 16] также была получена на основе экспериментальных данных Гута [22]:

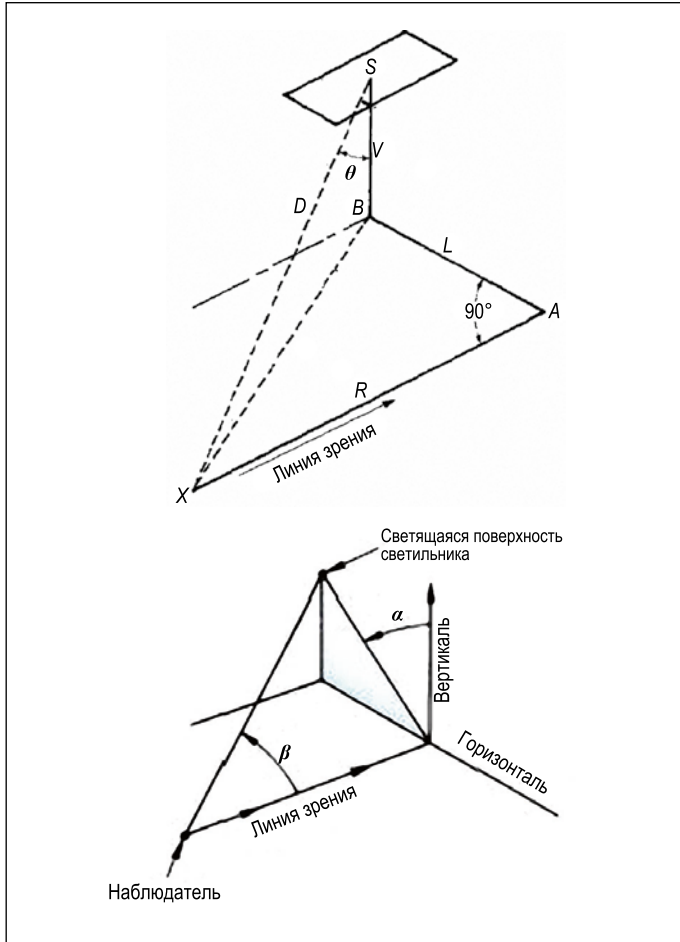


Рис. 1. Местоположения наблюдателя и светильника, использовавшиеся при расчётах VCP [5, 22]

$$P = \exp[(35.2 - 0.31889\alpha - 1.22e^{-2\alpha/9})10^{-3}\beta + (21 + 0.26667\alpha^2)10^{-5}\beta^2] \quad (3)$$

где α – угол между вертикалью и плоскостью, проходящей через светильник и линию зрения (см. рис. 1); β – угол между линией зрения и линией D , проходящей через точку наблюдения и светильник (см. рис. 1).

Входящие в уравнение (1) параметры Q и F зависят от стягиваемого светильником телесного угла ω_s с вершиной на глазу наблюдателя [5, 7, 21, 23]:

$$Q = 20.4\omega_s + 1.52\omega_s^{0.2} - 0.075, \quad (4)$$

$$F = \frac{1}{5} [L_w\omega_w + L_f\omega_f + L_c(\omega_c - \sum_{i=1}^N \omega_s) + \sum_{i=1}^N L_s\omega_s], \quad (5)$$

где L_w – яркость полости стен, L_f – яркость полости пола, L_c – яркость полости потолка, ω_c – стягиваемый потолком телесный угол.

Стягиваемый светильником телесный угол ω_s описывается выражением [5]:

$$A = \frac{\omega_s}{(V/D)^3}, \quad (6)$$

где D – расстояние между точкой наблюдения и центром светящейся поверхности (см. рис. 1); V – кратчайшее расстояние между центром светящейся поверхности и проходящей через точку наблюдения плоскостью, параллельной этой светящейся поверхности (см. рис. 1).

В результате показатель дискомфорта блёскости DGR можно выразить следующим образом [5, 7, 8]:

$$DGR = \left(\sum_{i=1}^N M_i \right)^{N^{-0.0914}}, \quad (7)$$

где M – индекс восприятия, N – количество светильников в поле зрения.

В первую очередь, следует определить, как M меняется при изменении ω_s (или A). Если считать, что установка внутреннего освещения содержит только один светильник, например, светильник № 1 в эксперименте Гута [22], и подставить в уравнение (1) значения $L_s = 138 \text{ кд}/\text{м}^2$ и $P = 1.62$, то индекс восприятия светильника № 1 можно рассчитать по формуле [5, 7, 24]:

$$M_1 = \frac{138(20.4\omega_s + 1.52\omega_s^{0.2} - 0.075)}{1.62 \times \frac{1}{5} [52.8 + 85.8 + 38.35(1.496 - \omega_s) + 138\omega_s]} \quad (8)$$

Соответствующая зависимость M_1 от ω_s приведена на рис. 2. Как видно на рис. 2, при $\omega_s > 0$ M_1 является возрастающей функцией³, а это означает, что увеличение площади светящейся поверхности светильника A , от

³ Уточнение $\omega_s > 0$ не имеет смысла, т.к. телесный угол в принципе не может быть отрицательным. – Прим. пер.

которой ω_s зависит прямо пропорционально, приводит и к увеличению M_I . Аналогичным образом, уменьшение A приводит к уменьшению M_I и, как следствие, к уменьшению DGR . С другой стороны, согласно (2), уменьшение A приводит к увеличению яркости источника блёскости, которое, в свою очередь, приводит к увеличению M . Для преодоления этого противоречия, все характеристики светильников, особенно их силы света, должны оставаться неизменными, за исключением A , влиянию которой посвящена эта работа. В результате применительно к двум условиям, обозначенным как *OLD* (старый) и *NEW* (новый) и соответствующим состоянию осветительной установки до и после модификации, уравнение (2) может быть переписано в предположении равенства сил света светильников:

$$L_{sOLD} A_{OLD} = L_{sNEW} A_{NEW} \quad (9)$$

Заменив в уравнении (9) A на ω_s , получаем:

$$L_{sNEW} = L_{sOLD} \frac{\omega_{sOLD}}{\omega_{sNEW}} \quad (10)$$

В предложенном нами методе для изменения старого индекса восприятия M_{iOLD} и получения нового, меньшего значения этого индекса M_{iNEW} , уравнение (8) было переписано в виде формулы 11, где i – порядковый номер светильника.

Подставив (10) в (11), получаем формулу 12.

Построив теперь для светильника № 1 из эксперимента Гута зависимость M_{iNEW} от ω_{siNEW} , получаем спадающую при $\omega_{siNEW} > 0^4$ кривую, которая приведена на рис. 3.

Благодаря большим по сравнению с прочими входящими в уравнение (1) параметрами значениям L_s , эта яркость оказывает сильное влияние на M . Применительно к обоим влияющим на M параметрам, то есть к L_s и ω_s , можно построить трёхмерную зависимость M от L_s и ω_s , пример которой приведён на рис. 4.

Как ясно видно на рис. 4, M увеличивается при возрастании L_s и уменьшении ω_s (или A).

Рис. 2. Рассчитанная по уравнению (8) зависимость индекса восприятия M_I от величины телесного угла, стягиваемого светильником № 1 в эксперименте Гута

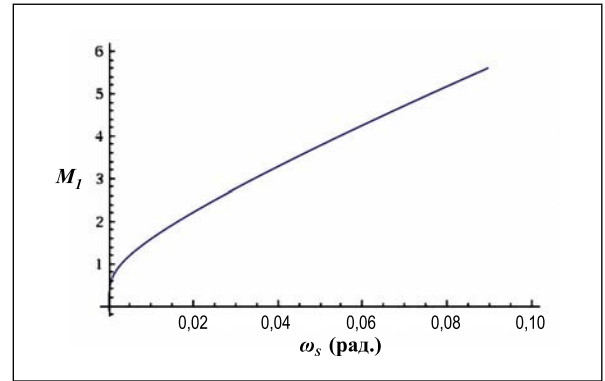
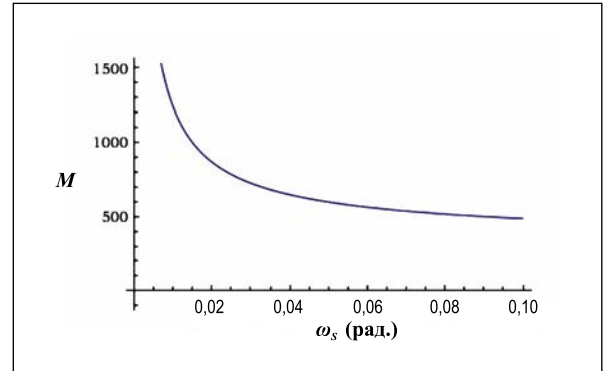


Рис. 3. Зависимость нового индекса восприятия M_{iNEW} от нового телесного угла, стягиваемого светильником после модификации



2.1. Формула для расчёта нового DGR

Если выражение (12) применить ко всем светильникам, то уравнение (7) можно записать, как:

$$DGR_{NEW} = (M_{totalOLD} - \sum_{i=1}^n M_{iOLD} + \sum_{i=1}^n M_{iNEW})^{N-0.0914} \quad (13)$$

где $M_{totalOLD}$ – полный индекс восприятия светильников в поле зрения до модификации; N – количество светильников в поле зрения; n – количество светильников в поле зрения, площади светящихся поверхностей которых были модифицированы.

Рассчитав DGR_{NEW} , можно определить и VCP_{NEW} , воспользовавшись для этого либо переводным графиком, либо математической зависимостью. В данном исследовании были использованы результаты измерений, приведённые в [5], что стало возможным благодаря содержащемуся в [5] пошаговому описанию нескольких методов расчёта индекса восприятия.

⁴ См. примечание 3. – Прим. пер.

$$M_{iNEW} = \frac{L_{sNEW} (20.4 \omega_{siNEW} + 1.52 \omega_{siNEW}^{0.2} - 0.075)}{P \left\{ \frac{1}{5} \times [L_w \omega_w + L_f \omega_f + L_c (\omega_c - (\omega_{siNEW} + \sum_{i=1}^{N-1} \omega_{si})) + (L_s \omega_{siNEW} + \sum_{i=1}^{N-1} L_{si} \omega_{si})] \right\}^{0.44}} \quad (11)$$

$$M_{iNEW} = \frac{L_{siOLD} \omega_{siOLD} (20.4 \omega_{siNEW} + 1.52 \omega_{siNEW}^{0.2} - 0.075)}{P \omega_{siNEW} \left\{ \frac{1}{5} \times [L_w \omega_w + L_f \omega_f + L_c (\omega_c - (\omega_{siNEW} + \sum_{i=1}^{N-1} \omega_{si})) + (L_s \omega_{siNEW} + \sum_{i=1}^{N-1} L_{si} \omega_{si})] \right\}^{0.44}} \quad (12)$$

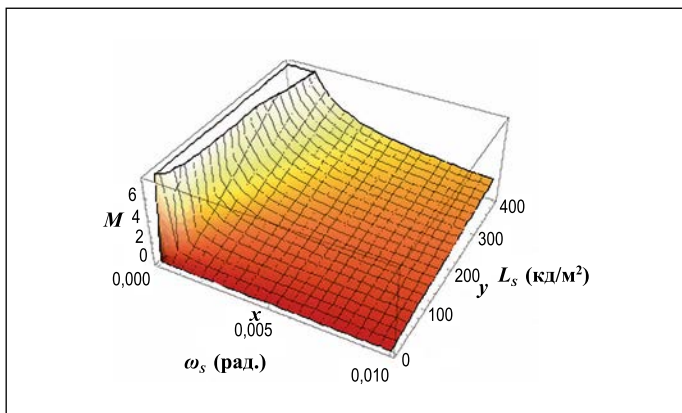


Рис. 4. Зависимость индекса восприятия (ось z) от яркости светильника (ось y) и стягиваемого им телесного угла (ось x)

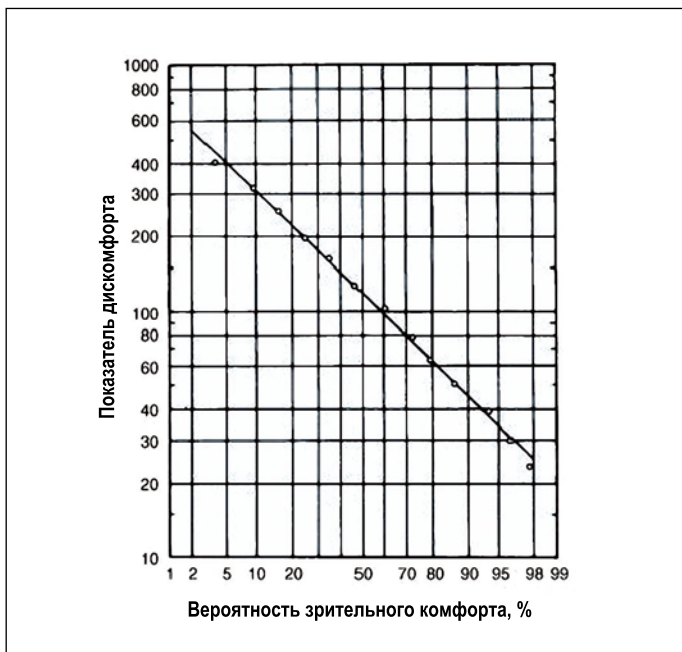


Рис. 5. Переводной график для преобразования DGR в VCP

3. Результаты и обсуждение

Гутом был предложен метод расчёта VCP [22], на который ссылались во всех изданиях справочника *IESNA* [5]. В этой работе модель Гута была использована для получения светотехнических данных. Осветительная установка, описанная Гутом, обладала симметрией относительно линии зрения и включала в себя 64 светильника, из которых 54 находились в поле зрения [22]. Наши модификации в целях изменения DGR начались с выбора светильников, у которых индексы восприятия M были выше среднего для 54 светильников значения этого параметра M , после чего значения индексов восприятия этих выбранных светильников были уменьшены на 20 % до $M_{NEW} = 0,8 \cdot M_{OLD}$. Выбранные светильники и их основные характеристики приведены в табл. 1. Как следует из табл. 1, индекс восприятия превышает M у семи светильников. Новые стягиваемые светильниками телесные углы ω_{siNEW} были рассчитаны для этих семи светильников посредством подстановки в уравнение (12) значений M_{NEW} . Параметры осветительных приборов были подставлены в приведённое в табл. 1

уравнение, после чего были определены значения ω_{siNEW} .

Следует отметить, что величины $\sum_{i=1}^{N-1} \omega_s$ и $\sum_{i=1}^{N-1} L_s \omega_s$, приведённые в табл. 1, представляют собой суммы ω_s и $L_s \omega_s$, соответствующие светильникам существующей установки внутреннего освещения, за исключением светильника с индексом i , который стягивает телесный угол ω_{siNEW} . Зная ω_{siNEW} , можно определить новую площадь светящейся поверхности светильника A_{iNEW} [5, 24]:

$$A_{iNEW} = \frac{\omega_{siNEW}}{(V/D^3)}, \quad (14)$$

Входящие в уравнение (14) параметры V и D показаны на рис. 1.

Полученные результаты приведены в табл. 2, из которой следует, что увеличение площади светящейся поверхности светильника не пропорционально расстоянию между светильником и наблюдателем D , что привело к уменьшению всех M до примерно 50 % от их первоначальных значений.

3.1 Расчёт нового значения DGR

Рассчитав значения $\sum_{j=1}^7 M_{OLD}$ и $\sum_{j=1}^7 M_{NEW}$ для семи светильников из табл. 2, мы получили равное 289,4 значение M_{NEW} , после чего при помощи уравнения (13) было рассчитано новое значение DGR для 54 светильников:

$$DGR_{NEW} = (382,8 - 186,8 + (186,8/2))^{54-0,0914} = 49,18.$$

И наконец, при помощи приведённого на рис. 5 переводного графика было получено равное примерно 88 значение VCP_{NEW} .

Основные результаты расчётов значений M_{total} , DGR и VCP до и после модификации рассмотренной Гутом установки внутреннего освещения приведены в табл. 3, которая демонстрирует явное улучшение VCP .

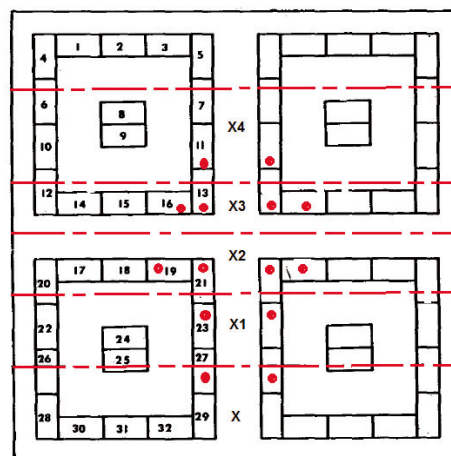


Рис. 6. Схема установки внутреннего освещения с 54 светильниками. 14 модифицированных светильников обозначены кружками, а X1, X2, X3 и X4 – это позиции 4-х наблюдателей [22]

Выбранные светильники и соответствующие им значения входящих в уравнение (12) параметров

№	$L_{si\ OLD}$	$M_{i\ OLD}$	$M_{i\ NEW}$	P	$\sum_{i=1}^{N-1} \omega_s$	$\sum_{i=1}^{N-1} L_s \omega_s$	Формула для расчёта $\omega_{si\ NEW}$: $L_{si\ OLD} \times \omega_{si\ OLD} (20,4 \times \omega_{s\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= M_{i\ NEW} \times \omega_{si\ NEW} \times P \times (A \times \omega_{s\ NEW} + B)^{0,44}$
1	158	7,3	3,65	1,95	0,378	130,71	$158 \times 0,0050 (20,4 \times \omega_{s1\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s1\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 7,11 \times \omega_{s1\ NEW} \times (23,93 \times \omega_{s1\ NEW} + 62,36)^{0,44}$
2	178	7,8	3,9	1,69	0,385	130,98	$178 \times 0,00292 (20,4 \times \omega_{s2\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s2\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 6,59 \times \omega_{s2\ NEW} \times (27,93 \times \omega_{s2\ NEW} + 62,41)^{0,44}$
3	168	8,0	4,0	2,72	0,376	129,47	$168 \times 0,0121 (20,4 \times \omega_{s3\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s3\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 10,88 \times \omega_{s3\ NEW} \times 23,93 \times \omega_{s3\ NEW} + 62,36)^{0,44}$
4	195	9,2	4,6	1,87	0,383	130,57	$195 \times 0,00479 (20,4 \times \omega_{s4\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s4\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 8,60 \times \omega_{s4\ NEW} \times (23,93 \times \omega_{s4\ NEW} + 62,36)^{0,44}$
5	673	15,7	7,85	8,50	0,360	112,99	$673 \times 0,0275 (20,4 \times \omega_{s5\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s5\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 66,72 \times \omega_{s5\ NEW} \times 23,93 \times \omega_{s5\ NEW} + 62,36)^{0,44}$
6	326	18,0	9,0	2,81	0,370	125,80	$326 \times 0,0175 (20,4 \times \omega_{s6\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s6\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 25,29 \times \omega_{s6\ NEW} \times 23,93 \times \omega_{s6\ NEW} + 62,36)^{0,44}$
7	500	27,4	13,7	4,55	0,348	111,50	$500 \times 0,0400 (20,4 \times \omega_{s7\ NEW} + 1,52 \times \omega_{s7\ NEW}^{0,2} - 0,075) =$ $= 62,33 \times \omega_{s7\ NEW} \times 23,93 \times \omega_{s7\ NEW} + 62,36)^{0,44}$

Таблица 2

Расчитанные значения площадей светящихся поверхностей выбранных светильников до и после модификации

i	$\omega_{i\ OLD}$	$\omega_{i\ NEW}$	V/D^3	$A_{i\ OLD}$	$A_{i\ NEW}$
1	0,000500	0,00710	0,000567	7,50	12,52
2	0,000222	0,00411	0,000387	7,50	10,62
3	0,012100	0,01880	0,001610	7,50	11,67
4	0,004790	0,00690	0,000639	7,50	10,80
5	0,027500	0,04760	0,009770	2,81	4,87
6	0,017500	0,02850	0,002380	7,50	11,97
7	0,040000	0,07560	0,005330	7,50	14,18

3.2 Новый DGR и различные точки наблюдения

Таблица 3

Сравнение значений M_{total} , DGR и VCP до и после модификации установки внутреннего освещения

	OLD (до модификации)	NEW (после модификации)
M_{total}	382,8	289,4
DGR	62	50
VCP	81	88

Основной задачей данной работы была разработка простого способа уменьшения DGR и, тем самым, увеличения VCP конкретной осветительной установки за счёт одного только увеличения площадей светящихся поверхностей нескольких светильников. В случаях, когда наблюдатели всегда видят потолок с одного направления, этот простой способ можно использовать для уменьшения DGR посредством увеличения светящихся поверхностей только тех светильников, которым соответствуют наибольшие значения M . На практике простейшим способом уменьшения M_{total} представляется увеличение площадей светящихся поверхностей потолочных светильников без изменения прочих характеристик осветительной установки, таких как сила света. В данной работе в результате упомянутой модификации 14-ти выбранных светильников общая площадь их светящихся поверхностей увеличилась на 5,35 м² (общая площадь всех светильников увеличилась при этом на 15 %), что привело уменьшению M_{total} на 24 %. В результате DGR уменьшился на 19,3 %, а VCP увеличилась на 8,6 %.

Эти результаты справедливы для точки наблюдения, которая охватывает 84 % светильников ((54/64) × 100 = 84 %). Однако для точек наблюдения, которые охватывают меньше чем 84 % светильников, такое уменьшение DGR может быть получено посредством изменения светящихся поверхностей меньшего количества светильников, и наоборот, для точек наблюдения, которые охватывают больше чем 84 % светильников, этот

Изменение значений M_{total} , DGR и VCP при изменении положения наблюдателя

	Точка наблюдения	Количество светильников в поле зрения (N)	M_{total}	DGR	VCP
<i>OLD</i> (до модификации)	X	54	382,8	62	81
	$X1$	42	266	52,68	87
	$X2$	32	185	44,72	91
	$X3$	22	120,2	36,82	94
	$X4$	10	50,4	23,93	100
<i>NEW</i> (после модификации)	X	54	289,4	50	88
	$X1$	42	234,8	48,21	88,5
	$X2$	32	175,28	43	92
	$X3$	22	117	36,10	94,5
	$X4$	10	50,4	23,93	100

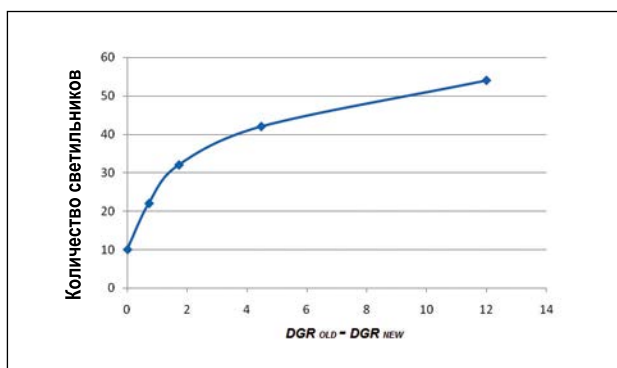


Рис. 7.
Соответствующая
рис. 6 связь между Δ
 $= DGR_{OLD} - DGR_{NEW}$
и количеством
светильников в поле
зрения наблюдателя

результат может быть достигнут только при модификации большего числа светильников.

Все основные параметры осветительной установки до и после изменения площадей светящихся поверхностей светильников, включая как M_{OLD} , DGR_{OLD} и VCP_{OLD} , так и M_{NEW} , DGR_{NEW} и VCP_{NEW} , были рассчитаны применительно различным точкам наблюдения X , $X1$, $X2$, $X3$ и $X4$, которые показаны на рис. 6. Полученные результаты приведены в табл. 4. Следует отметить, что в случае $X4$ модифицировать светильники не потребовалось, в результате чего для этой точки наблюдения значения параметров до и после модификации оказались одинаковыми.

Согласно табл. 4, значения DGR оказались меньшими для тех точек наблюдения, которые охватывают меньшее количество светильников. Этот результат говорит о том, что чем больше ярких светильников попадают в поле зрения, тем больше DGR . Расчёт разности Δ между старыми и новыми значениями DGR ($\Delta = DGR_{OLD} - DGR_{NEW}$) показал, что для точек наблюдения от X до $X4$ она оказалась пропорциональной количеству светильников в поле зрения (рис. 7).

Полученные результаты говорят о том, что если значение DGR приемлемо для наблюдателя, который видит все установленные светильники, то оно наверняка будет приемлемо и для других наблюдателей, в поле зрения которых попадает меньшее количество светильников. Следует отметить, что если светильники уже установлены, то уменьшение DGR трудно обеспечить посредством увеличения площадей светящихся поверхностей всех светильников, так как DGR зависит от M , который, в свою очередь, не только зависит от яркостей светильников, но и сложным образом связан с положением наблюдателя. Тем не менее,

уменьшение DGR , в общем-то, осуществимо и для смонтированных установок внутреннего освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Veitch, J.A., Newsham, G.R. Determinants of lighting quality I: State of the science // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1998. – Vol. 27. – P. 92–106.
2. Osterhaus, W.K., Bailey, I.L. Large area glare sources and their effect on visual discomfort and visual performance at computer workstations // In: Industry Applications Society Annual Meeting, 1992. Conference Record of the 1992 IEEE, IEEE, 1992. – P. 1825–1829.
3. Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M. Evaluating a New Suite of Luminance-Based Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight // Leukos. – 2015. – P. 1–26.
4. Wienold, J., Christoffersen, J. Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras // Energy and buildings. – 2006. – Vol. 38. – P. 743–757.
5. The IESNA lighting handbook: reference & application, 9th ed. IESNA, 2000.
6. Benya, J.K. Controlling Glare, Deciphering this technical condition to create responsive Lighting Solutions // In: Architectural Lighting Magazine, 2010.
7. Eble-Hankins, M.L., Waters, C.E. VCP and UGR glare evaluation systems: a look back and a way forward // Leukos. – 2005. – Vol. 1. – P. 7–38.
8. Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., Pagliano L. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design // Renewable and sustainable energy reviews. – 2015. – Vol. 47. – P. 1016–1033.
9. Mistrick, R.G., Choi, A. – S. A comparison of the visual comfort probability and unified glare rating systems // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1999. – Vol. 28. – P. 94–101.
10. Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M. A critical investigation of common lighting design metrics for predicting human visual comfort in offices with daylight // Leukos. – 2014. – Vol. 10. – P. 145–164.
11. Osterhaus, W., Veitch, J. Workshop on discomfort glare: Final report // In: 27th Session of the International Commission on Illumination, 2011.

12. Osterhaus, W.K. Office lighting: a review of 80 years of standards and recommendations // In: CONFERENCE RECORD-IEEE INDUSTRY APPLICATIONS SOCIETY ANNUAL MEETING, IEEE INC, 1993. – P. 2365–2365.

13. Boyce, P.R., Hunter, C.M. Inclan, C. Overhead glare and visual discomfort // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 2003. – Vol. 32. – P. 73–88.

14. Marty, C., Fontoynt, M., Christoffersen, J., Dubois, M. – C., Wienold, J., Osterhaus, W., Carco, E., Carco, R.F. User assessment of visual comfort: review of existing methods // In: Technical report, Ingelux, Lyon, 2003.

15. Kim, W., Kim, J.T. A formula of the position index of a glare source in the visual field // In: 3rd International symposium on Sustainable Healthy Buildings, SHB2010, Seoul, Korea, 2010.

16. Levin, R.E. Position index in VCP calculations // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1975. – Vol. 4. – P. 99–105.

17. McGowan, T., Guth, S.K. Extending and applying the IES visual comfort rating procedure // Illuminating Engineering. – 1969. – Vol. 64. – P. 253.

18. Luckiesh, M., Guth, S.K. Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort (BCD) // Illuminating Engineering. – 1949 – Vol. 44. – P. 650–670.

19. Guth, S.K. A method for the evaluation of discomfort glare // Illuminating Engineering/ – 1963. – Vol. 58. – P. 351–364.

20. Levin, R.E. An evaluation of VCP calculations // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1973. – Vol. 2. – P. 355–361.

21. Fry, G.A. A simplified formula for discomfort glare // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1976. – Vol. 6. – P. 10–20.

22. Guth, S.K. Computing visual comfort ratings for a specific interior lighting installation // Illuminating Engineering. – 1966. – Vol. 61. – P. 634.

23. Ford, L.B., Ranieri, D. Glare evaluation calculations applied to visual display terminals // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1990. – Vol. 19. – P. 3–20.

24. Lewin, I. The Determination of Luminaire Projected Area // Journal of the Illuminating Engineering Society. – 1973. – Vol. 2. – P. 418–421.



Абеди Камаль ад-Дин (Abedi Kamal ad-Din), Ph.D. (2014 г.). Доцент факультета здоровья Курдистанского медицинского университета, где читает лекции по защите от излучения и проектированию осветительных установок



Маджиди Фарамарз (Madjidi Faramarz), Ph.D. Читает лекции в школе здоровья Занянского медицинского университета. Область научных интересов: проектирование установок внутреннего освещения, математическое обеспечение измерений неионизирующего излучения и др.

Об использовании в школах освещения светодиодными лампами

В апреле 2017 г. Минэнерго РФ направило запрос в Роспотребнадзор о возможности использования освещения светодиодами в школах.

В своём официальном ответе от 22 мая 2017 г. Роспотребнадзор официально уведомил, что в школах использовать светодиодное освещение можно. Согласно протоколу № 21-ПРМ-АС от 19.01.2017 совещания по вопросу применения освещения светодиодами в жилых и общественных зданиях в Минстрое РФ, основным нормативным документом принят СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*», введённый в действие 08.05.2017 и разрешающий применение светильников со светодиодами в жилых и общественных зданиях, в том числе в образовательных учреждениях.

ltcompany.com/ru/news/
10.07.2017

Освещение светодиодами в средней школе в Наро-Фоминске

Краткое описание объекта:

В Наро-Фоминске завершено строительство новой школы. С 1 сентября новая школа примет учеников. Школа рассчитана на 1050 учеников, в дальнейшем может быть увеличена – за счёт комплектования классов, использования всех имеющихся дополнительных пространств, оптимизации расписания и т.д. – до 1500 человек. Строительство школы реализовано в рамках региональной программы по ликвидации второй смены в школах и расширению числа учебных заведений в Московской области.

Стоящая светотехническая задача: Создание системы освещения в любом образовательном учреждении с чётким соблюдением определённых норм и требований для того, чтобы уровень освещения не оказывал на детей неблагоприятного эффекта, и они могли спокойно обучаться и получать новые знания. В рамках программы повышения энергоэффективности эта школа стала на сегодня одной из немногих, где установлено современное освещение светодиодами, отвечающее всем требованиям нормативной базы (СанПин и СНиП), во всех помещениях.

Применённое оборудование: светильники серий «PRS/R ECO LED», «OPTIMA.PRS ECO LED» и «OPTIMA.OPL ECO LED» (производитель: МГК «Световые Технологии»).

Результат: Изначально в проект были заложены светильники с люминесцентными лампами. В ходе работы Заказчику были представлены дополнительные расчёты, убедившие в преимуществах перехода на освещение светодиодами, в связи с чем отпала необходимость в обслуживании светильников, поддержании запаса ламп и их утилизации по окончании срока службы. В итоге все помещения школы – от учебных классов до вспомогательных площадей – освещаются светильниками со светодиодами.

ltcompany.com/ru/news/
11.07.2017



Оборудование для испытаний управляющих устройств для светильников со светодиодами и ЭПРА для люминесцентных ламп

Н.Н. БЕСПАЛОВ, М.В. ИЛЬИН, С.С. КАПИТОНОВ

ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск
E-mail: kapss88@mail.ru

Аннотация

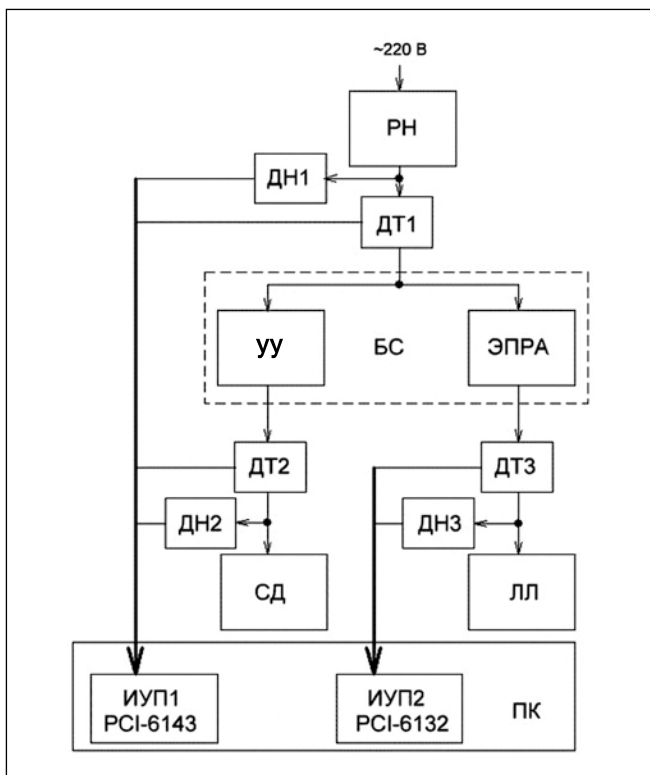
Рассмотрен разработанный аппаратно-программный комплекс для испытаний ЭПРА для люминесцентных ламп НД мощностью до 40 Вт и управляющих устройств («драйвер»)

для светильников со светодиодами мощностью до 200 Вт. Описаны структуры комплекса и программного обеспечения, под управлением которого он функционирует. Представлены результаты испытаний ЭПРА мощностью 8 Вт и управляющего устрой-

Рис. 1. Внешний вид испытательного аппаратно-программного комплекса «АДИП-СВЕТ»



Рис. 2. Упрощённая структура аппаратной части испытательного аппаратно-программного комплекса



ва мощностью 30 Вт. Сделаны выводы о возможности соответствующих применений данных изделий.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, управляющее устройство, ЭПРА, испытание, диагностика, *National Instruments*.

В основном тренде развития светотехнического оборудования сегодня присутствуют два направления – переход на светодиодные (СД) источники света и замена ЭмПРА для разрядных ламп на ЭПРА [1, 2].

Реализация этих направлений подразумевает разработку новых пускорегулирующих устройств (ПРУ) для светотехнических изделий, что предполагает, в частности, проведение их комплексных испытаний [3], в основном связанных с определением электрических параметров и характеристик.

Для этого обычно недостаточно стандартного измерительного оборудования [4, 5]. Дополнительным требованием к современному испытательному оборудованию является наличие автоматизации процесса испытаний и документирования их результатов, что требует включать в него информационно-измерительные средства.

Один из мировых лидеров в сфере информационно-измерительных систем – компания *National Instruments* [6, 7], и представляемое ниже испытательное оборудование было разработано на основе аппаратных и программных средств этой компании.

Разработанное оборудование – испытательный аппаратно-программный комплекс (ИАПК) «АДИП – СВЕТ» – предназначено для испытаний ЭПРА для люминесцентных ламп (ЛЛ) мощностью до 40 Вт и управляющих устройств (УУ) для светильников с СД мощностью до 200 Вт (рис. 1)¹.

ИАПК позволяет определять:

- амплитудное и действующее значения входных напряжения и тока;
- активную мощность, потребляемую от сети;
- коэффициент мощности;

¹ ИАПК разработан по научно-техническому договору между Национальным исследовательским Мордовским государственным университетом им. Н.П. Огарёва и ГУП Республики Мордовия «НИИ-ИС им. А.Н. Лодыгина» для эксплуатации в последнем.

- амплитудное и действующее значения выходных напряжения и тока ЭПРА;

- среднее значение выходных напряжения и тока УУ;

- коэффициент пульсаций выходных напряжения и тока УУ;

- частоту выходного напряжения ЭПРА;

- активную мощность, потребляемую нагрузкой;

- КПД;

- коэффициент гармонических искажений.

В процессе испытания на лицевой панели виртуального прибора отображаются кроме расчётных параметров осциллограммы входных и выходных напряжений и токов, а также спектральный состав входного и выходного токов. При этом вся измерительная информация записывается в память компьютера в виде базы данных.

ИАПК упрощённо состоит из следующих блоков (рис. 2): регулятор напряжения (РН); датчики напряжения (ДН1, ДН2 и ДН3); датчики тока (ДТ1, ДТ2 и ДТ3); блок соединений (БС); измерительно-управляющие платы (ИУП1, ИУП2); персональный компьютер (ПК); испытуемое УУ; испытуемый ЭПРА; СД источник света светильника (СД нагрузка); ЛЛ.

РН позволяет испытывать ПРУ (УУ или ЭПРА) во всём рабочем диапазоне входных напряжений. С его помощью предварительно, перед началом испытаний, на входе ПРУ устанавливается требуемое напряжение. Для оценки напряжения на выходе РН, которое является входным напряжением для испытуемого ПРУ, используется ДН1. Сигнал с последнего передается в ПК, и оператор по показаниям на лицевой панели виртуального прибора может устанавливать нужное напряжение для испытания.

Напряжение с выхода блока РН через датчик входного тока ДТ1 поступает на БС. Последний предназначен для подключения испытуемого ПРУ и содержит все необходимые узлы коммутации. Испытуемые ПРУ на рис. 2 показаны внутри БС в виде блоков «УУ» и «ЭПРА». Они подключаются на общую шину входного напряжения и на разные нагрузки: СД источники света и ЛЛ. При испытании в БС должно находиться только одно испытуемое ПРУ (УУ или ЭПРА).

Для измерения выходных токов и напряжения испытуемых ПРУ ис-

Рис. 3. Диаграмма взаимодействия модулей программного обеспечения между собой, аппаратным блоком и оператором

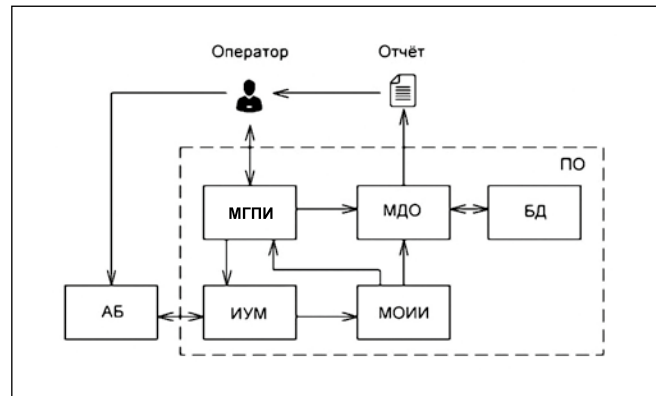


Рис. 4. Осциллограммы входных напряжения и тока управляющего устройства (УУ)

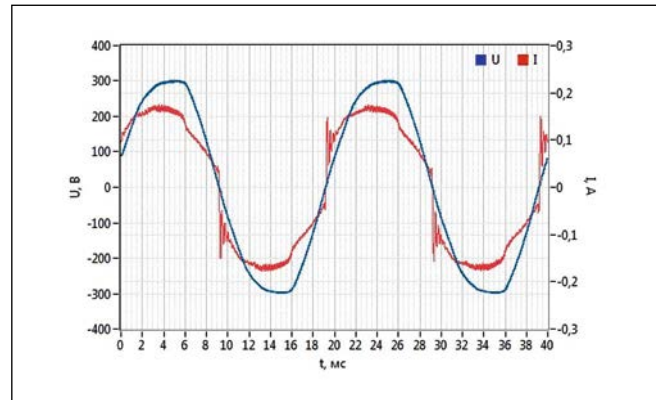


Рис. 5. Спектр входного тока УУ (IRMS – действующее значение)

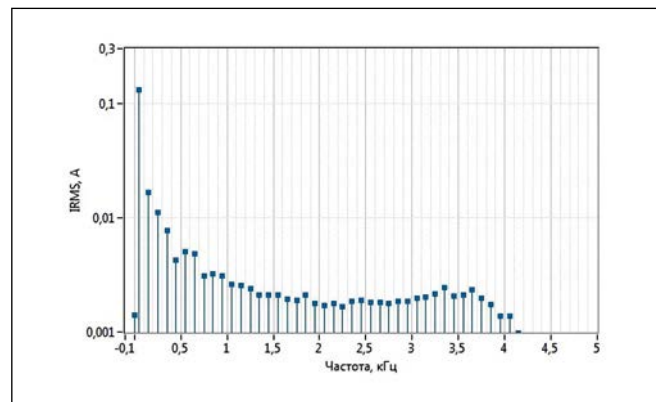
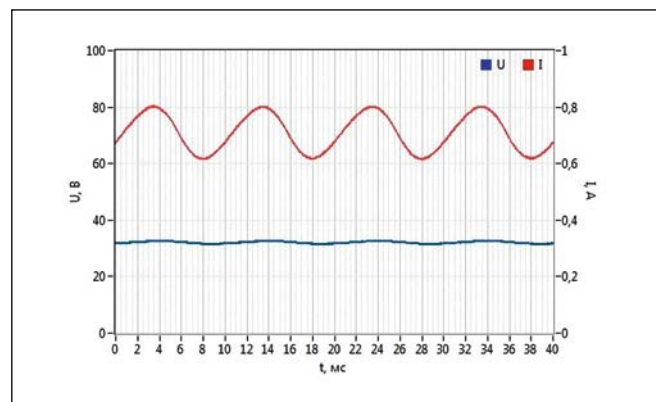


Рис. 6. Осциллограммы выходных напряжения и тока УУ



пользуются ДН2 и ДТ2 для УУ и ДН3 и ДТ3 для ЭПРА.

Сигналы с выходов всех датчиков ДН и ДТ передаются в ПК, в который встроены ИУП1 и ИУП2. ИУП1

предназначена для измерения входных и выходных напряжений и токов УУ, а ИУП2 – выходных напряжений и тока ЭПРА. ИУП2 содержит АЦП с большей частотой дискретиза-

Рис. 7. Спектр
выходного тока УУ
(*IRMS* – действующее
значение)

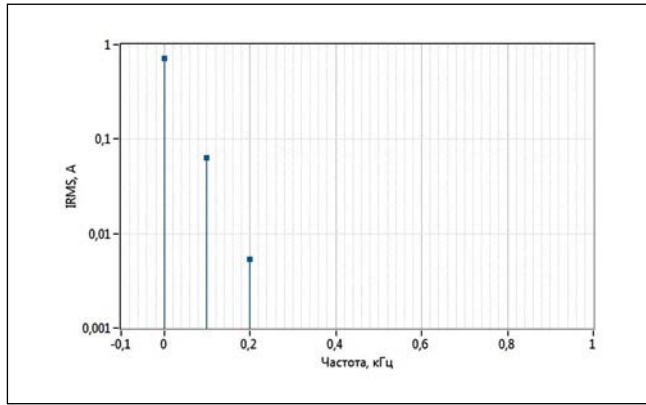


Рис. 8. Осциллограмма
выходного напряжения
УУ при включении

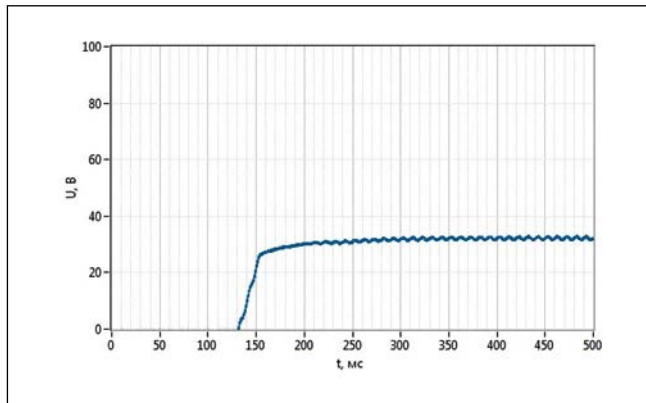


Рис. 9. Осциллограмма
выходного тока УУ при
включении

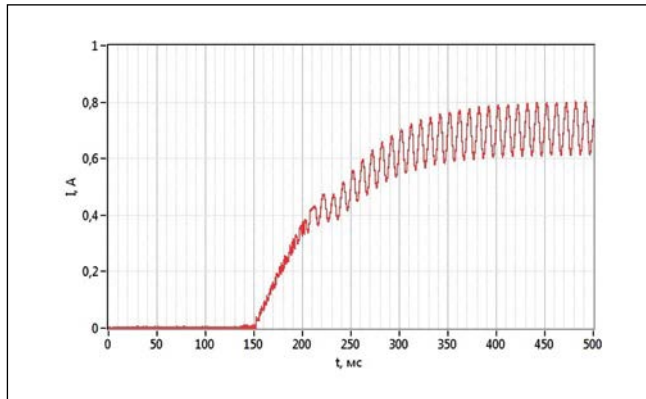
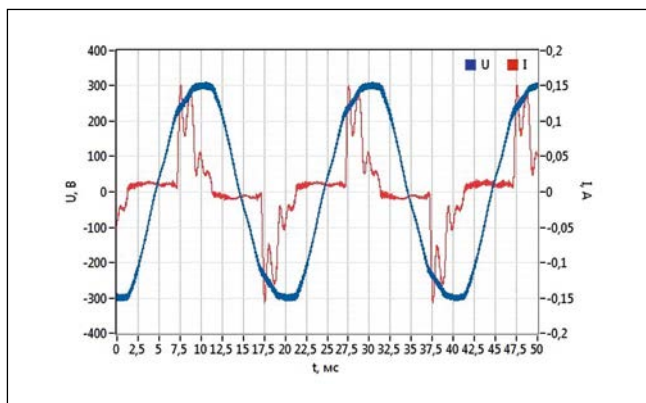


Рис. 10.
Осциллограммы
входных напряжения
и тока ЭПРА



ции, чем у ИУП1, так как частота выходного напряжения ЭПРА существенно выше частоты входного и выходного напряжений УУ. В качестве ИУП1 и ИУП2 были выбраны изме-

рительные платы компании *National Instruments PCI-6143* и *PCI-6132* соответственно.

ПО для ИАПК разработано в графической среде программирования

«*LabVIEW*» и предназначено для взаимодействия с оператором, управления аппаратной частью в процессе испытания, сохранения результатов испытания и создания протокола испытания. Оно состоит из следующих основных модулей: 1) модуль графического пользовательского интерфейса (МГПИ); 2) измерительно-управляющий модуль (ИУМ); 3) модуль обработки измерительной информации (МОИИ); 4) модуль документирования и отчетов (МДО); 5) база данных (БД).

Взаимодействие модулей ПО с аппаратным блоком ИАПК (АБ) и оператором характеризует диаграмма, представленная на рис. 3.

На основе введённой через МГПИ информации (тип испытываемого устройства, паспортные электрические параметры испытываемого ПРУ, тип нагрузки для испытываемого ПРУ, паспортные электрические параметры нагрузки, параметры отчёта) ИУМ принимает решение о формировании управляющего сигнала для подключения определённого измерительного канала и подключения или отключения испытываемого устройства к источнику входного напряжения. Основным объектом управления ИУМ являются измерительно-управляющие платы АБ. Управление ими осуществляется посредством специализированного УУ «*DAQmx*».

Получаемая от ИУМ измерительная информация в ходе испытаний записывается на жёсткий диск и параллельно преобразуется МОИИ в расчётные электрические параметры и диаграммы, которые отображаются для оператора модулем МГПИ.

Используя МДО, оператор может сохранять в БД результаты испытаний. Для удобства хранения оператор может группировать их в виде отдельных групп, объединённых в одной БД. При этом для удобства разделения этих групп существует дополнительная возможность создавать новые БД.

Сохранив результаты в БД, оператор получает возможность сформировать отчёт об испытаниях.

В качестве демонстрации работы ИАПК были произведены испытания ПРУ китайского производства: УУ мощностью 30 Вт и ЭПРА мощностью 8 Вт.

На рис. 4–9 представлены диаграммы, полученные в результате испытаний УУ. На основании этих диаграмм получены следующие расчётные элек-

трические параметры испытуемого УУ:

- действующее входное напряжение: 220 В;
- действующий входной ток: 133 мА;
- амплитуда входного тока: 174 мА;
- активная мощность, потребляемая от сети: 29 Вт;
- коэффициент мощности: 0,97;
- среднее выходное напряжение: 32 В;
- средний выходной ток: 710 мА;
- амплитуда пульсаций выходного напряжения: 1,46 В;
- амплитуда пульсаций выходного тока: 0,192 мА;
- коэффициент пульсаций выходного тока: 27 %;
- активная мощность, потребляемая нагрузкой: 23 Вт;
- КПД: 78 %;
- коэффициент гармонических искажений: 33 %.

Входной ток имеет почти синусоидальную форму (рис. 4), и потому коэффициент мощности высок (0,97). Однако наличие высокочастотных (до и более 4 кГц) составляющих во входном токе достаточно велико. Выходной же ток (рис. 6) довольно сильно пульсирует (коэффициент пульсаций 27 %). Таким образом, в Российской Федерации согласно СНиП [8] испытуемый УУ в светильниках с СД применяться не может. Остальные полученные значения электрических параметров данного УУ, приведённые выше, показали соответствие его заявленным (паспортным) данным.

На рис. 10–15 представлены диаграммы, полученные в результате испытаний ЭПРА.

В соответствии с ними расчётные параметры испытуемого ЭПРА следующие: действующее входное напряжение: 220 В; действующее значение входного тока: 53 мА; амплитудное значение входного тока: 151 мА; активная мощность, потребляемая от сети: 7,4 Вт; коэффициент мощности: 0,64; действующее значение выходного напряжения: 51 В; действующее значение выходного тока: 101 мА; амплитуда выходного напряжения: 80 В; амплитуда выходного тока: 0,157 мА; частота выходного напряжения: 26,6 кГц; активная мощность, потребляемая нагрузкой: 4,9 Вт; КПД: 66 %; коэффициент гармонических искажений: 95 %.

Рис. 11. Спектр входного тока ЭПРА (*IRMS* – действующее значение)

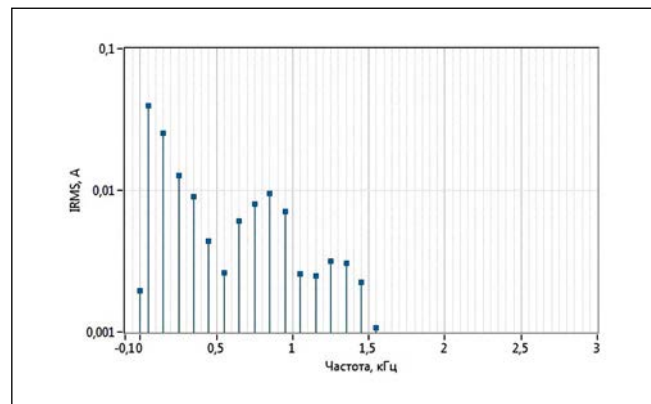


Рис. 12. Осциллограммы выходных напряжения и тока ЭПРА

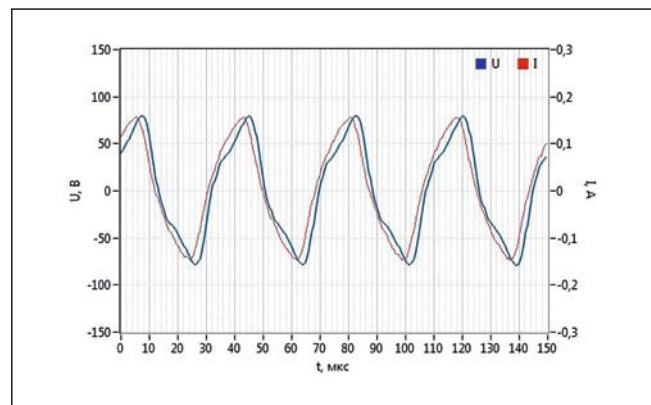


Рис. 13. Спектр выходного тока ЭПРА (*IRMS* – действующее значение)

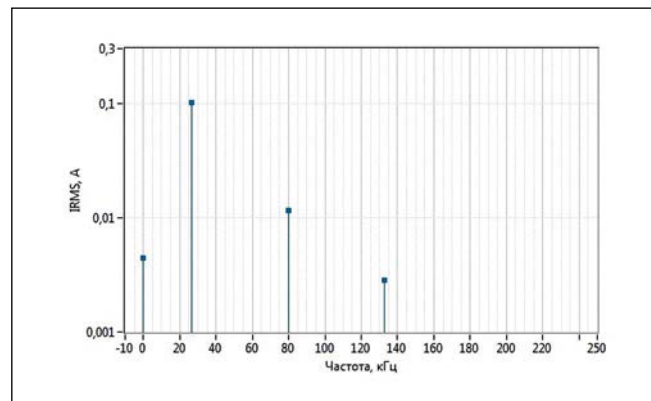
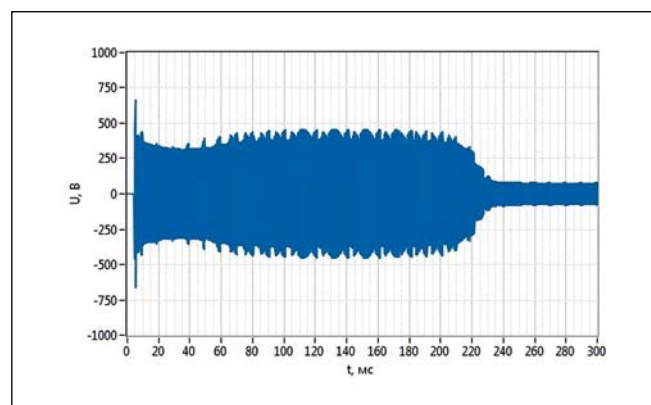


Рис. 14. Осциллограмма выходного напряжения ЭПРА при включении

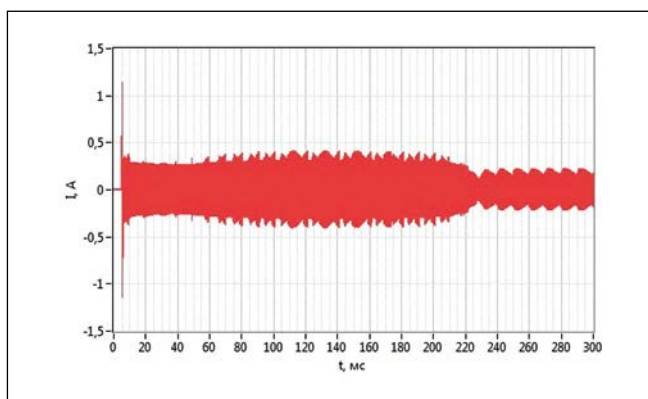


Из результатов испытания видно, что испытуемый ЭПРА не содержит корректор мощности, так как потребляемый от сети ток несинусоидален, что и обуславливает низкий коэффи-

циент мощности (0,64) и довольно широкие спектры тока и напряжения.

Кроме того, из рис. 14 и 15 следует, что данный ЭПРА достаточно стабильно зажигает ЛЛ, но не предназна-

Рис. 15.
Осциллограмма
выходного тока ЭПРА
при включении



чен обеспечивать дополнительные режимы, повышающие срок её службы.

Применение светотехническими предприятиями ИАПК «АДИП-СВЕТ» позволит:

1) значительно сокращать время испытаний и диагностики УУ для светильников с СД и ЭПРА для ЛЛ;

2) существенно упрощать процессы измерений, обработки информации и визуализации результатов за счёт использования современных компьютерных технологий;

3) определять характеристики и значения всех основных параметров УУ и ЭПРА с помощью одного комплекса (без дополнительного оборудования);

4) осуществлять отбраковку потенциально ненадёжных УУ и ЭПРА и проводить контроль за качеством изготовления этих изделий;

5) повышать надёжность и энергоэффективность ЛЛ и светильников с СД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалов Н.Н., Капитонов С.С., Капитонова А.В. Исследование процессов в светильнике со светодиодами при вариации температурного коэффициента напряжения отдельных светодиодов // Светотехника. – 2016. – № 2. – С. 4–6.

2. Bepalov N.N., Kapitonov S.S., Kapitonova A.V. Research of processes in

the LEDs luminaire in case of the voltage temperature coefficient of separate LEDs variation // *Light & Engineering*. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – p. 72–75.

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

4. Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Аириятов А.А., Кильмямятов Денис Р., Кильмямятов Диас Р. Разработка электрической модели светодиода в среде Multisim // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – Вып. № 1. – С. 99–102 (Казань).

5. Bepalov Nikolai N., Kapitonov Sergei S., Ilyin Michael V., Evishev Alexei V., Volkov Alexander G. Development of electro-thermal model of led in the Multisim / Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 EIConRus). – St. Petersburg: IEEE, 2017. – С. 221.

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

7. Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Аириятов А.А. Исследование стандартной модели светодиода в среде Multisim // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Вып. 4(37), Т. 1. – С. 73–75 (Одесса: КУПРИЕНКО СВ).

8. СНиП 23–05–95 «Естественное и искусственное освещение».



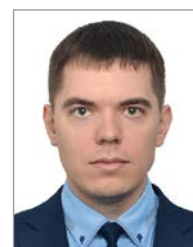
Беспалов Николай Николаевич, кандидат техн. наук. Окончил в 1974 г. Новосибирский электротехнический институт. Заведующий кафедрой электроники и на-

ноэлектроники ФГУВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка систем управления светодиодными источниками света



Ильин Михаил Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 2004 г. Мордовский государственный университет им.

Н.П. Огарёва. Доцент кафедры электроники и нанoeлектроники ФГУВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка систем управления светодиодными источниками света



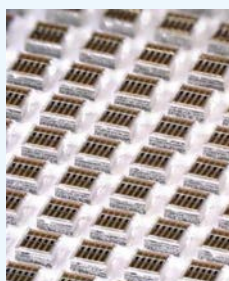
Капитонов Сергей Сергеевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2010 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры

электроники и нанoeлектроники ФГУВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка систем управления светодиодными источниками света

Dowa приступает к серийному производству мощных диодных источников дальнего УФ излучения

Dowa Electronics Materials Co, Ltd., Токио – филиал компании Dowa Holdings Co., Ltd. – разработала кристалл размером 1×1 мм, излучающий в дальнем УФ области, поток излучения которого на длине волны 280 нм составляет 75 мВт. Компания утверждает, что готова к серийному выпуску до 1 млн таких кристаллов в месяц.

При этом диоды, излучающие в области дальнего УФ, могут заменить применяемые



для дезинфекции и дезинсекции ртутные лампы, выгодно отличаясь от них безртутностью, меньшими размерами и большей энергоэффективностью.

Dowa надеется, что производители будут использовать диоды в новых энергосберегающих и, возможно, подключаемых к Интернету (интеллектуальных) установках для дезинфекции воды, воздуха и поверхностей.

Dowa сообщает, что её кристаллы дальнего УФ излучения сочетают в себе высококачественную пластину из нитрида алюминия (AlN) с уникальной «фирменной» технологией выращивания кристаллов.

solidstatelighting.net
29.06.2017

Исследование и повышение важнейших характеристик гибких световых панелей

И.Н. ГОНЧАРОВ¹, Е.Н. КОЗЫРЕВ¹, А.И. МАЛДЗИГАТИ², Р.О. АСКЕРОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Владикавказ;

² ОАО «ГРАН», Владикавказ

E-mail: maldzigati@mail.ru

Аннотация

Сформулированы факторы, определяющие яркость электролюминесцентных панелей. Указано, что повышение яркости возможно за счёт модернизации состава диэлектрического связующего, используемого в приготовлении суспензии люминофора для излучающего слоя. Установлены пути повышения долговечности работы излучающих структур. Получены яркостные и временные характеристики электролюминесцентных панелей, изготовленных по результатам проведённых исследований.

Ключевые слова: электролюминесцентная панель, яркость, долговечность, электролюминофор, диэлектрическая проницаемость, напряжённость электрического поля, яркостные характеристики, синтез диэлектрического связующего, гидроксильные и карбонатные группы.

Введение

Плоские и гибкие источники оптического излучения – электролюминесцентные панели (ЭЛП) находят широкое применение как эффективные средства освещения шкал различных измерительных приборов, как основные компоненты изделий сигнального и аварийного освещения и как важнейшие, обладающие большими композиционными возможностями, элементы конструкций рекламных и декоративных светящихся панелей разных форматов.

Из основных характеристик ЭЛП следует выделить:

– напряжение питания U (40–500 В);

– частоту питающего напряжения f (50–1000 Гц);

– яркость L_v (35–50 кд/м² при $f=50$ Гц и $U=220$ В и 130–230 кд/м² при $f=1000$ Гц и $U=150$ В – значения, характерные для аналогов ведущих

зарубежных фирм *Ball Engineering* и *Luminousfilm EL Products* (США), *Sinel SPA* (Италия), *KEP-A1W* и *KEP-BW* (КНР);

– удельную потребляемую мощность $P_{\text{пот}}$ (≤ 30 Вт/м² (*KES-20W-200*, *KEP-D16W* и *KEP-A1W* (КНР), *Phosphor Products* (Великобритания));

– удельный потребляемый ток $I_{\text{пот}}$ ($\leq 0,2$ мА/см² (*Luminousfilm EL Products* (США), *KEP-A1W* и *KEP-BW* (КНР));

– неравномерность яркости K ($\leq 5\%$ (*Sumitomi Chem* (Япония));

– долговечность T (≥ 4500 ч (*Luminousfilm EL Products* (США), *Sinel SPA* (Италия));

– климатические характеристики: диапазон рабочих температур (10–50 °С) и относительная влажность окружающей среды ($\leq 95\%$);

– конфигурацию панели (разная, по заказу потребителей);

– толщину панелей (0,4–1 мм).

Среди указанных характеристик ЭЛП наиболее значимые и важные для потребителя – L_v и T . Оптимизации этих характеристик гибких ЭЛП и посвящена данная работа.

Проведение и результаты эксперимента

На рис. 1 приведена конструктивная схема ЭЛП. Установлено, что яркость такой структуры определяется большой совокупностью факторов, таких как:

– лавсановая плёнка 1 ; прозрачный проводящий слой ITO (10 % $SnO + 90\% In_2O_3$) 2 ; люминесцирующий слой (суспензия люминофора + диэлектрическое связующее в весовой пропорции 2:1) 3 ; диэлектрический слой (диэлектрическое связующее + титанат бария ($BaTiO_3$) в весовой пропорции 2,5:1) 4 ; непрозрачный электрод (Al, Ag) 5 ;

– эффективность используемого люминофора, определяемая концентрацией активатора и гранулометрическим составом порошка. В рамках данной работы применялся высококачественный цинксульфидный электролюминофор *D512C-GG* бирюзового цвета свечения производства КНР;

– качество жидкого диэлектрического связующего, используемого для приготовления суспензии люминофора и диэлектрического слоя. Важны технологичность его применения и характерное для него значение относительной диэлектрической проницаемости ϵ , от которого зависит концентрированность воздействия электрического поля непосредственно на зёрна люминофора, определяющая яркость их излучения;

– толщины слоёв 3 и 4 (рис. 1). Они должны быть достаточно малы для достижения высокой напряжённости поля в люминесцирующем слое при подаче на ЭЛП питающего напряжения, но при этом нельзя допустить неравномерности свечения структуры из-за излишнего обеднения люминесцирующего слоя. При среднем диаметре зёрен люминофора в 25 мкм у изделий, изготавливаемых нами, толщины люминесцирующего и диэлектрического слоёв, наносимых шелкографическим методом, в отверждённом состоянии, соответственно, равнялись в среднем 60 и 40 мкм;

– качество (высокое) прозрачного электрода 2 , нанесённого на лавсановую плёнку 1 (рис. 1). Он должен обеспечивать удельное сопротивление не выше 500 Ом·м;

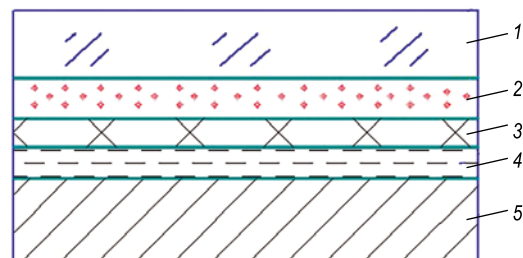
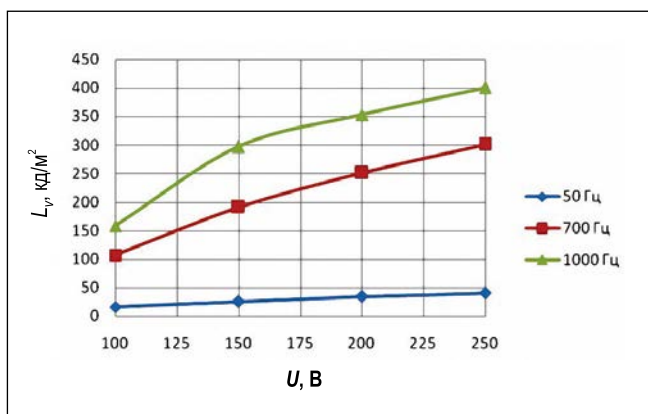


Рис. 1. Конструкция ЭЛП

Рис. 2. Зависимости яркости ЭЛП от напряжения питания при разных его частотах



– процентное соотношение компонентов, входящих в излучающий и диэлектрический слои (оптимальное). Компоненты таковы: диэлектрическое связующее (ДС) на эпоксидной основе, электролюминофор, сегнетоэлектрик – титанат бария, а также смачиватель – оксиэтилированный фенол ОП-10;

– режим (оптимальный) электрического питания изделия. Для возбуждения свечения ЭЛП требуется переменное напряжение. В этом случае люминофор ЭЛП излучает в оба полупериода колебаний напряжения, а его мгновенная яркость является периодической функцией времени. Необходимо обеспечивать выгодное сочетание амплитуды и частоты питающего напряжения, а также оптимальные форму и длительность импульсов [1, 2].

Исследования показали, что значительный резерв при поиске возможности повышения яркости ЭЛП заложен в составе ДС, в сочетании с которым из люминофора приготавливается суспензия для светящего слоя. ДС – это полимерный диэлектрик (в рассматриваемом случае), приготовленный на основе смолы ЭД-22. Связующий диэлектрик должен быть прозрачен для видимого света, а также обладать хорошей адгезией к соседним слоям,

достаточным уровнем пробивного напряжения, химической инертностью по отношению к материалам наполнителя и электродов, а также стабильностью электрофизических и оптических характеристик. Он не только выполняет функции связующего материала, но и создаёт барьерные области, и тем самым концентрирует электрическое поле непосредственно на зёрнах люминофора. Напряжённость данного поля можно рассчитывать по выражению

$$E_{\text{вн}} = E_{\text{ср}} \frac{3\varepsilon_{\text{д}}}{\varepsilon_{\text{эл}} + 2\varepsilon_{\text{д}} - \chi(\varepsilon_{\text{эл}} - \varepsilon_{\text{д}})},$$

где $E_{\text{вн}}$ – напряжённость поля внутри зёрен люминофора, В/м; $E_{\text{ср}}$ – средняя напряжённость поля в слое в целом, В/м; $\varepsilon_{\text{д}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость материала ДС; $\varepsilon_{\text{эл}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость зёрен электролюминофора; χ – доля объёма, занимаемого люминофором в суспензии.

Видно, что ДС, входящее в суспензию люминофора и в диэлектрический слой, должно характеризоваться высокой диэлектрической проницаемостью ε и малыми диэлектрическими потерями. Это обеспечивает максимальную концентрацию электрическо-

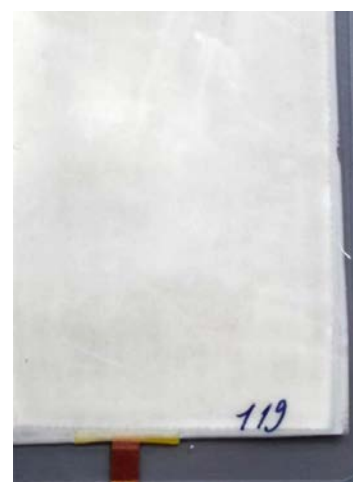
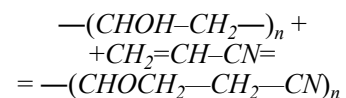


Рис. 3. Образец ЭЛП после эксплуатации

го поля на кристаллах люминофора, распределённых в излучающем слое, и расположенных изолированно друг от друга в окружении ДС. Для роста ε в состав ДС вводилось до 40 % сегнетоэлектрика – титаната бария.

В ходе работы было установлено, что весьма перспективным материалом для его применения в составе плёнок с высокой ε является цианэтиловый эфир поливинилового спирта (ЦЭПС).

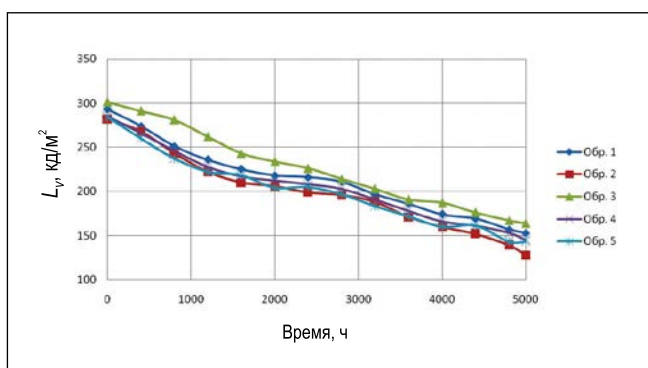
Химизм получения ЦЭПС выглядит как



Показатель полимеризации n может варьироваться от 350 до 1200. Значительное содержание в ЦЭПС подвижных сильно полярных нитрильных, карбонильных и гидроксильных групп обеспечивает высокое значение диэлектрической проницаемости. На частоте 1000 Гц при комнатной температуре она достигает 15 и более при тангенсе угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta = 0,1-0,15$.

Видно, что ЦЭПС является продуктом присоединения акрилонитрила к поливинилому спирту (ПВС). Оксигруппы присоединяются по активированной двойной связи акрилонитрила. Следует учесть, что от качества ПВС, произведённого на предприятии-поставщике, а именно от достигнутой эффективности отщепления ацетатных групп от поливинилацетата (омыления) вместо оксигрупп до их остатка, соответствующего 1 %, зависит остаток ацетогрупп. При этом известно, что даже незначитель-

Рис. 4. Результаты испытаний образцов ЭЛП на долговечность (режим включения: $U = 150 \text{ В}$, $f = 1000 \text{ Гц}$)



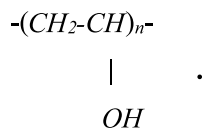
ное присутствие ацетогрупп в составе готового продукта снижает его качество. Таким образом, омыленный ПВС высшего качества в идеале не должен содержать оксигрупп.

С использованием синтезированного нами ЦЭПСа были изготовлены образцы ЭЛП. На рис. 2 приведены яркостные характеристики одного из образцов. Количество ЦЭПСа, введённого в состав суспензии люминофора, составило 15 % от массы порошка люминофора. Был достигнут значительный рост L_v структур, который в среднем составил порядка 25–30 % по сравнению с образцами, выполненными без применения ЦЭПСа.

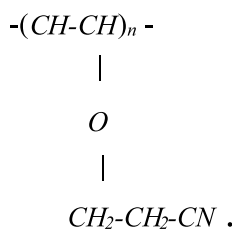
Однако L_v может радикально снижаться при непрерывной эксплуатации излучающих плёнок. В первые 500–700 ч она быстро падает, затем спад замедляется. Время, за которое уровень L_v спадает до половины начального, называют долговечностью.

Исследования показали, что снижение L_v структур, как правило, сопровождается постепенным изменением их внешнего вида. На рисунке 3 приведено фотоизображение одного из изготовленных нами образцов плёночных источников света после 600 ч непрерывной работы. Видно, что люминесцирующий слой потемнел, он покрылся тёмной мелкой сыпью. Дальнейшая эксплуатация структуры усугубляет положение. Потемнение люминесцирующего слоя может свидетельствовать об его частичном окислении, происходящем под влиянием кислорода, содержащегося в ЦЭПСе.

Структурную формулу поливинилового спирта можно представить как

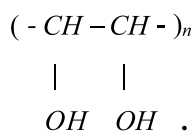


Получаемый путём синтеза поливинилового спирта и акрилонитрила ($\text{CH}_2=\text{CH-CN}$) ЦЭПС имеет структурную формулу



Появившаяся полярная группа $\text{CH}_2\text{-CH-CN}$ обеспечивает рост ϵ полимера. Известно при этом, что в ходе синтеза поливинилового спирта и акрилонитрила не все группы OH закрываются. Оставшийся несвязанным кислород в группе OH может в дальнейшем способствовать протеканию окислительных процессов в люминесцирующем слое и снижать тем самым долговечность ЭЛП. Окисление проявляется, в частности, иногда наблюдаемым потемнением рабочей поверхности панели в ходе её эксплуатации. Панель деградирует, изменяя свой внешний облик (рис. 3).

Проведённые исследования показали, что более совершенным аналогом ЦЭПСа, как диэлектрического связующего может выступить синтезированный в присутствии катализатора NaOH параформальдегид, который изначально характеризуется формулой



Результаты синтеза параформальдегида и акрилонитрила в присутствии катализатора NaOH схематически представлены внизу страницы.

Видно, что в получившемся в итоге полимере, с одной стороны, присутствуют две полярные группы, что повышает ϵ соединения, а с другой – кислород O уравновешен (нейтрализован) двумя звеньями полярных групп. При этом можно ожидать снижения его окислительных свойств во всём полимере. Положительное влияние окажет и отсутствие в веществе свободных OH -групп.

В соответствии с этим синтез ЦЭПСа, предназначенного для про-

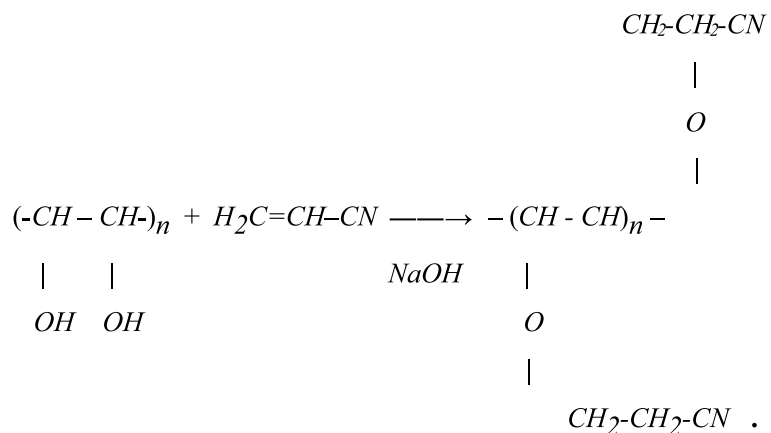
изводства высокоэффективных долговечных ЭЛП и производимого на основе акрилонитрила и поливинилового спирта, необходимо вести таким образом, чтобы остаток оксигрупп в нём был минимальным. Нами была разработана соответствующая технология синтеза. Изготовленный по данной технологии продукт обладает следующими полезными свойствами:

- высокой ϵ (≥ 17);
- высокой прозрачностью;
- возможностью изменения вязкости, например, путём разбавления продукта диметилформамидом или ацетоном, что в случае необходимости позволяет переводить процесс получения ЭЛП из периодического в полунепрерывный (из шёлкотрафаретного в рулонный способ изготовления ЭЛП);
- высокой термостойкостью (до 250 °С на воздухе);
- возможностью дальнейшего отверждения плёнок, как под воздействием УФ излучения, так и термически. При этом следует лишь использовать разные соответствующие инициаторы радикальной полимеризации.

Проведённые нами испытания излучающих структур, изготовленных с использованием модернизированного ЦЭПСа, показали, что долговечность изделий возросла до 5000 ч (рис. 4).

Таким образом, достигнут вполне приемлемый, конкурентоспособный результат, как по яркости, так и по долговечности ЭЛП.

Результаты работы получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0196).



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров И.Н., Кабышев А.М., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И. Разработка и оптимизация источника питания для гибких электролюминесцентных панелей // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 39–42.

2. Гончаров И.Н., Кабышев А.М., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И. Источник питания для электролюминесцентных панелей // Радиотехника и электроника. – 2017. – Т. 62, № 6. – С. 1–3.



Гончаров Игорь Николаевич,

доктор техн. наук, профессор кафедры «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Область научных интересов – современные источники оптического излучения, оптические квантовые генераторы, электронно-оптические преобразователи



Козырев Евгений Николаевич,

доктор техн. и экон. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Академик РАЕН и МАНЭБ. Область научных интересов – фотоэлектронные и электронно-лучевые приборы, твердотельные приборы и устройства СВЧ диапазона



Малдзигати

Алан Ильич, инженер. Ведущий инженер-технолог ОАО «ГРАН». Аспирант. Область научных интересов – оптико-электронные приборы и устройства



Аскеров Роман Олегович,

инженер. Ассистент кафедры «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Область научных интересов – современные источники оптического излучения и преобразователи электрической энергии

Новые COB-светодиоды компании Lumileds дают до 30000 люменов

Lumileds объявила о добавлении к своей базовой серии мощных светодиодов «Luxeon CoB Core Range» трёх новых изделий, удовлетворяющих потребности в больших световых потоках светильников для улиц и стадионов и светильников с большой и малой высотой подвеса.

«Имея эти изделия с большими световыми потоками, мы теперь можем удовлетворять потребности не только тех областей применения, которым нужны мощности 40 и 50 Вт, но и тех, которым нужны мощности до 100 и 120 Вт, обеспечивая при этом такую же высокую световую отдачу, как и у наших изделий серии «Luxeon CoB Core Range (Gen 3)», – сказал Эрик Сендерз, ответственный за выпуск изделий семейства «Luxeon CoB Family».

Новое пополнение серии «Luxeon CoB Core Range (Gen 3)» имеет диаметры светящейся поверхности, соответственно, 23, 29 и 30 мм, номинальные световые потоки 8800, 11000 и 16000 лм при токах питания 1,2; 2,1 и 2,2 А и световые отдачи до 161 лм/Вт.

Предлагаются решения с коррелированными цветовыми температура-



ми (КЦТ) 2700–5700 К и индексами цветопередачи 70, 80 и 90, решения, предназначенные для наружного освещения с индексом цветопередачи 70 и КЦТ ниже 3000 К, а также удовлетворяющие особым требованиям, предъявляемым к цвету студиями и стадионами, нуждающимися в холодно-белом свете и высоких индексах цветопередачи (> 90).

Светодиоды смонтированы на квадратных печатных платах на металлической основе, которые, как утверждается, имеют наименьшее тепловое сопротивление, что уменьшает размеры радиаторов и вторичной оптики для снижения общей стоимости сборки.

compoundsemiconductors.net
27.06.2017

Мода будущего: интерактивные светодиодные ресницы «f.Lashes»

На что только не пойдёшь ради того, чтобы быть модным в XXI веке. Художники, дизайнеры и стилисты проявляют верх изобретательности, чтобы впечатлить окружающих своими работами. В том числе используя в проектах различные технологические ухищрения. Яркий макияж сегодня уже никого не удивляет, поэтому техасский дизайнер Тьен Фам решил в буквальном смысле подсветить глаза своих моделей. Светодиодные наклейки на ресницы получили название «f.lashes» (игра слов от «flash» – вспышка и «lashes» – ресницы).

«f.lashes» представляют собой тоненькие светодиодные полоски, клеиваемые на веки поверх ресниц. Светодиоды соединены тонкими проводами с блоком управления, закреплённым заколками на затылке модели. Помимо плоской батарейки, которой хватает примерно на 4 ч работы, блок содержит в себе чувствительный к движениям контроллер. Устройство может похвастаться пятью различными режимами работы светодиодов. Например, ресницы могут переливаться огоньками. Движения головы пользователя также могут запускать различные



световые паттерны, что, по заверению разработчиков технологии, выглядит особенно эффектно во время танцев.

Дизайнер Тьен Фам разработал прототип «f.lashes» ещё в прошлом мае специально для показа мод на одном из калифорнийских подиумов. Но когда публика увидела его изобретение, то пришла в полный восторг. Фама буквально умоляли выпустить «f.lashes» в розничную продажу. Это привело к созданию kickstarter-кампании, которая буквально за пару недель набрала в два с половиной раза больше средств, чем было нужно изначально (более \$100 000 вместо 40 000 требовавшихся). Первые покупатели получили свои сияющие наклейки на ресницы уже в январе 2018 г.

hi-news.ru
05.07.1017

Осветительный прибор с регулируемой цветовой температурой с красными, синими и белыми СД¹

Р. МАЛИК, С. МАЗУМДАР

Университет Джадавпур, Калькутта, Индия.

E-mail: rajib.diara@gmail.com; saswati.mazumdar@gmail.com

Аннотация

Предложен позволяющий регулировать коррелированную цветовую температуру (T_c) осветительный прибор с СД, который включает в себя красные, синие и белые СД, устройство управления и светорегулятор. При этом сначала имеющий разную интенсивность свет RGB СД смешивался со светом белых СД, что позволяло варьировать T_c . Было установлено, что для получения более высоких, чем у белых СД, значений T_c достаточно смешивать свет только синих и белых СД. С другой стороны, для получения более низких, чем у белых СД, значений T_c достаточно смешивать свет красных и белых СД. Этот новый алгоритм позволяет реализовывать T_c в интервале от 2700 до 9723 К. Максимальные отклонения значений T_c , полученных в результате добавления к свету белых СД света красных и синих СД, от заданных оказались равными 18 и 344 К соответственно. Устройство управления СД сконструировано таким образом, чтобы оно могло работать как в режиме защиты от перегрузок по напряжению, так и в режиме управления током. Режим управления током реализован при помощи пропорционально-интегрального регулятора на основе операционного усилителя.

Ключевые слова: светорегулятор, устройство управления для СД, $RGBW$ СД, управление током, светорегулирование при помощи ШИМ-сигналов, варьированная коррелированная цветовая температура.

1. Введение

Из-за увеличения цен на энергию исследователи стараются разработать новые методы и осветительные приборы, позволяющие эффектив-

но использовать электроэнергию [1]. В настоящее время СД постепенно становятся всё более популярной альтернативой традиционным источникам света, что обусловлено их очень высокой энергоэффективностью, мгновенным зажиганием, способностью работать при низких температурах и очень малым количеством УФ излучения, а также их большим сроком службы, малыми размерами и весом и высокой сопротивляемостью к разрушению; кроме того, ими легко управлять, и они безопасны для окружающей среды [1, 2, 13, 14].

Для экономии электроэнергии искусственное освещение следует совмещать с естественным. Цвет излучения искусственного источника света должен соответствовать цвету дневного света. Коррелированная цветовая температура (T_c) в течение дня изменяется от 2000 К на рассвете до 5000 К при наличии прямого солнечного света полдень и может достигать 10000 К в условиях сплошной облачности [3]. Так что для обеспечения такого же, как и при естественном освещении, зрительного ощущения, нужно создать искусственный источник света, допускающий регулирование цвета его излучения. Помимо имитации

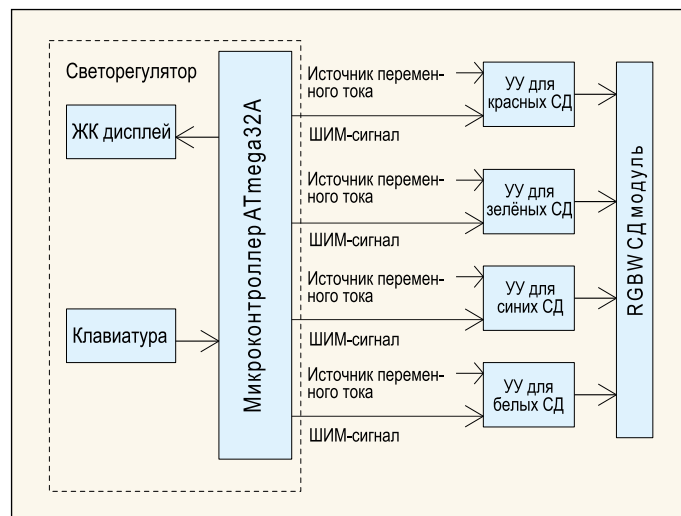
естественного освещения, регулируемые по цвету источники света могут использоваться для создания у людей определённого настроения [4].

Хорошо известно, что обширную цветовую гамму можно обеспечить посредством смешивания трёх основных цветов – красного, зелёного и синего. В ряде предшествующих исследований для получения разных оттенков белого света смешивали свет монохроматических красных, зелёных, синих и жёлтых СД [3]. Однако T_c монохроматического источника света измерить нельзя, а индекс цветопередачи получаемого подобным образом света оказывается очень низким. В данной работе для получения варьированной T_c имеющий разную интенсивность свет RGB СД смешивался со светом СД тёпло-белого света. И наконец, был предложен алгоритм, позволяющий варьировать T_c при помощи СД только красного, синего и тёпло-белого света.

2. Осветительный прибор с $RGBW$ СД

Экспериментальный осветительный прибор с $RGBW$ (красный-зелёный-синий-белый) СД состоял из одного светорегулятора, четырёх устройств управления (УУ) для СД и $RGBW$ СД модуля. Четыре УУ использовались для того, чтобы обеспечить независимые токовые режимы работы четырёх цепочек СД. Светорегулятор генерирует четыре независимых ШИМ-сигнала с разными коэффициентами заполнения, которые обеспечивают четыре независимых значения токов питания цепочек СД. Блок-схема разработанного прибора приведена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема осветительного прибора с СД с регулируемой T_c



¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Рис. 2. Прототип светильника RGBW

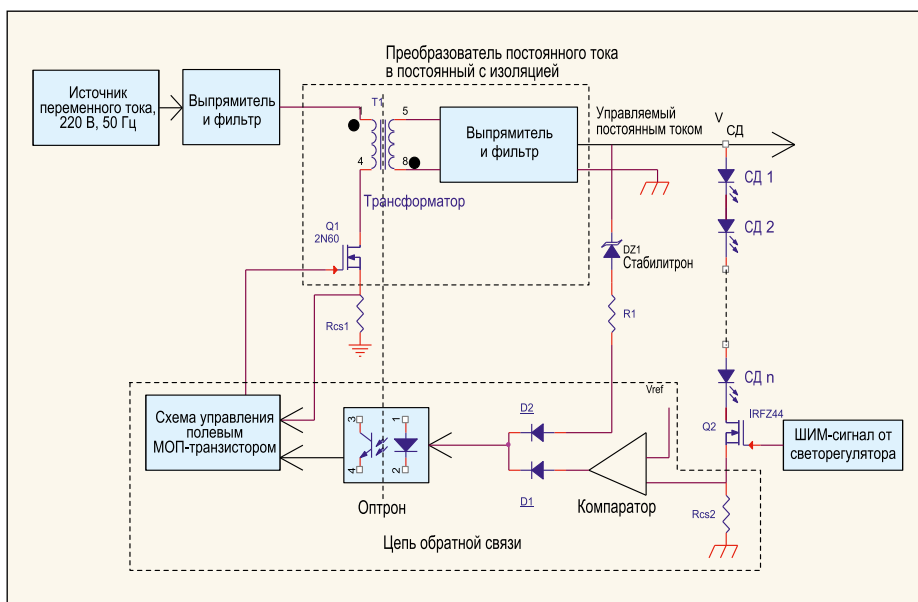
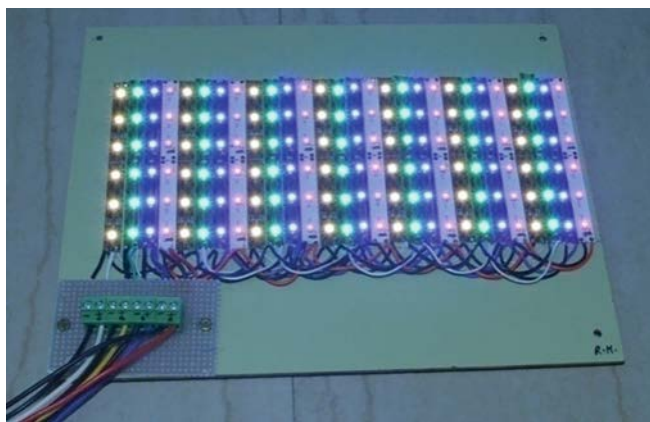


Рис. 3. Блок схема УУ для СД

2.1. Основы управления цветовой температурой

Основы работы блока управления цветовой температурой можно объяснить при помощи графика цветностей (x, y) МКО 1931, т.к. любой цветное восприятие может быть отображено при помощи двух координат (x, y) . $T_{ц}$ источника света – это температура идеального чёрного тела, излучение которого сопоставимо с излучением этого источника света. Свет с низкими (2700–3000 К) значениями $T_{ц}$ называют тёпло-белым, а свет с высокими (5000–6000 К) значениями $T_{ц}$ – холодно-белым.

Согласно закону Грассмана, цвета смешиваются линейно. Так что если известны координаты цветности (x_k, y_k) n первичных излучателей, то любые координаты цветности (x, y) , лежащие в пределах цветового пространства МКО 1931 г., могут быть записаны как [5]:

$$\frac{x}{y} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k \cdot \frac{Y_k}{y_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{Y_k}{y_k}}, \quad (1)$$

$$\frac{x}{y} = \frac{\sum_{k=1}^n y_k \cdot \frac{Y_k}{y_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{Y_k}{y_k}}, \quad (2)$$

где Y_k – световой поток первичного излучателя k .

2.2. Конструкция прототипа светильника

Расположение СД ленты RGBW 3528 LED на бакелитовой плате показано на рис. 2. Каждая цепочка СД состоит из 14-ти параллельных дорожек, каждая из которых содержит 3 последовательно соединённых СД.

3. Конструкция УУ

В рамках данной работы был разработан основанный на обратноходовом преобразователе импульсный источник питания, схема которого была реализована на печатной плате. Линейный источник питания имеет низкий КПД, так как этот полупроводниковый прибор работает в активном режиме. Переключая (включая/выключая) активные приборы, можно обеспечить большее, чем у линейных источников питания, КПД преобразователя.

В качестве переключателя использовались полевые МОП-транзисторы 2N60 (ток 2 А, напряжение 600 В, N каналов).

3.1. Принцип действия разработанного УУ

Вначале переменный ток преобразуется в постоянный при помощи выпрямителя, а затем величина этого постоянного тока при помощи высокочастотного переключателя и трансформатора доводится до требуемого для работы СД уровня. Блок-схема УУ приведена на рис. 3.

Автоколебательный обратноходовой преобразователь является популярной схемой для бюджетных областей применения благодаря своим простоте и малому количеству деталей [6]. Подробный анализ стационарного режима работы и ориентированную на малые сигналы модель автоколебательного обратноходового преобразователя можно найти в [6].

В данной работе была разработана схема автоколебательного обратноходового преобразователя, которая была реализована для питания цепочек СД. При открывании полевого МОП-транзистора Q_1 ток начинает протекать по первичной обмотке трансформатора, в которой накапливается энергия. Ток в первичной обмотке I_p можно измерить при помощи низкоомного резистора R_{CS1} , расположенного между стоком полевого МОП-транзистора и землёй. При отсутствии обратной связи пиковое значение напряжения $I_p \cdot R_{CS1}$ достигает порогового значения напряжения между базой и эмиттером транзистора типа $n-p-n$, что приводит к уменьшению напряжения затвор-исток полевого транзистора Q_1 . Вследствие регенеративных процессов Q_1 быстро закрывается, и во вторичную обмотку передаётся накоплен-

ная в первичной обмотке энергия $1/2 L_p \cdot I_p^2$, где L_p – индуктивность первичной обмотки. При наличии обратной связи по току или напряжению значение $I_p \cdot R_{CS1}$ изменяется, что приводит к требуемому изменению тока во вторичной обмотке или напряжения на вторичной обмотке.

Схема управления полевым МОП-транзистором будет быстро открывать и закрывать полевой МОП-транзистор Q_1 под воздействием сигнала обратной связи или тока в первичной обмотке. Для изоляции вторичной обмотки трансформатора от первичной используется оптрон. Разработанный прототип УУ для СД показан на рис. 4, а в табл. 1 приведены характеристики этого УУ.

3.2. Работа УУ в режиме управления

Управляющая схема на вторичной стороне трансформатора позволяет работать в режиме защиты от перегрузок по напряжению и в режиме управления током. На протяжении типичного периода используемого для светорегулирования ШИМ-сигнала управляющий сигнал на вторичной стороне трансформатора проходит и через стадию защиты от перегрузок по напряжению, и через стадию управления током. В рамках этого цикла, при открывании полевого МОП-транзистора Q_2 схема управления током будет активирована для защиты СД, а при его закрывании будет активирована схема защиты полевого МОП-транзистора Q_1 от перегрузок по напряжению.

3.2.1. Работа УУ в режиме управления током

Т.к. СД представляет собой питаемый током полупроводниковый прибор, то его яркость пропорциональна протекающему через него току. Управление током осуществляется при помощи ПИ-регулятора (рис. 5). Приведённая на рис. 5 управляющая схема работает при закорачивании выходных контактов, при закорачивании СД или если ток нагрузки превысит своё максимальное допустимое значение.

Расположенная на вторичной стороне трансформатора схема управления с обратной связью реализована при помощи резистивного делителя с последующим усилением напряже-



Рис. 4. Прототип УУ для СД

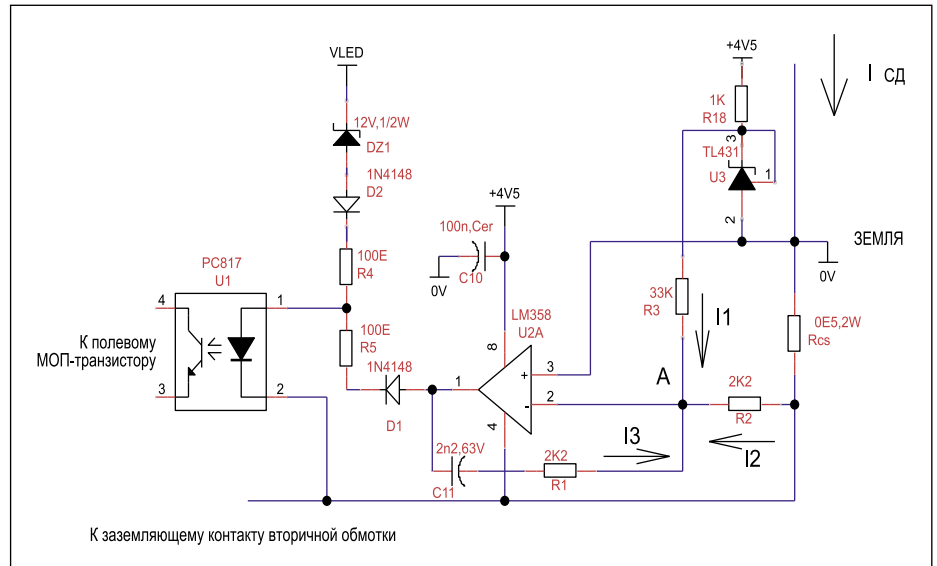


Рис. 5. Основанная на ПИ-регуляторе блок-схема управления током

Таблица 1

Характеристики УУ для СД

Параметр	Значение
Номинальное входное напряжение V_{in}	230 В, 50 Гц переменного тока
Номинальное выходное напряжение V_{out}	16 В
Индуктивность первичной обмотки $L1$	430 мкГн
Индуктивность вторичной обмотки $L2$	8 мкГн
Нормированный ток СД I_{LED}	312 мА
Тип СД и количество СД	СД лента 3528 LED (красные, зелёные, синие и белые СД)
Частота обеспечивающего светорегулирование ШИМ-сигнала F_{Dim}	244 Гц
Резистор R_{CS1}	0E5

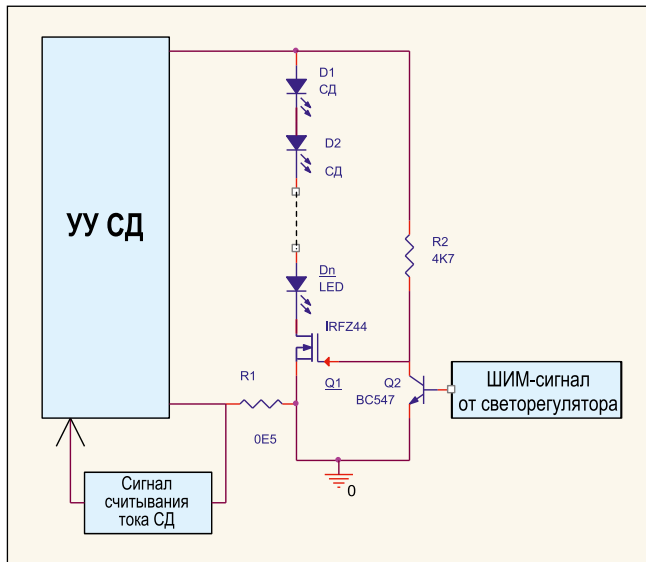
ния регулируемым стабилитроном ($TL431$) [6].

В данной работе схема управления с обратной связью модифицирована посредством включения в неё ПИ-регулятора, необходимого для точного управления током СД.

Применительно к узлу А на рис. 5, закон Кирхгофа записывается следующим образом:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0, \quad (3)$$

Рис. 6. Схема последовательного подсоединения переключателя для обеспечения светорегулирования



$$I_1 \frac{V_{ref}}{R_3}, \quad (4)$$

$$I_2 = -\frac{I_{LED} \cdot R_{CS}}{R_2}, \quad (5)$$

$I_3 = 0$ в установившемся режиме.

Максимальный выходной ток, который может обеспечивать УУ СД, можно рассчитать по формуле:

$$I_{LED} = \frac{R_2 \cdot V_{ref}}{R_3 \cdot R_{CS}}. \quad (6)$$

Таким образом, предельное значение максимального тока можно задать, изменяя любой из параметров R_2 , V_{ref} , R_3 или R_{CS} . Операционный усилитель LM358 используется для сравнения опорного напряжения V_{ref} и выходного тока. Рассчитанное по (6) значение I_{LED} равно 312 мА. Опорное напряжение 2,5 В генерируется с использованием прецизионного регулируемого стабилитрона TL431. В режиме управления током $I_1 < I_2$, так что коэффициент усиления компаратора будет высоким.

3.2.2. Режим защиты от перегрузок по напряжению

В режиме защиты от перегрузок по напряжению $I_1 > I_2$, так что коэффициент усиления компаратора будет низким.

Напряжение на выводах для подключения СД V_{LED} будет зависеть от падения напряжения на стабилитроне DZ_1 , D_2 и оптроне. V_{LED} ни при ка-

ких условиях не должно быть больше чем напряжение питания СД.

4. Конструкция светорегулятора

Светорегулятор используется для генерации четырёх независимых ШИМ-сигналов. Он состоит из микроконтроллера ATmega32A компании Atmel Corporation, жидкокристаллического (ЖК) дисплея 16x2 и клавиатуры 4X1. Для предотвращения мельканий, частота генерируемого светорегулятором ШИМ-сигнала должна превышать 100 Гц [7, 8, 15]. Поэтому для каналов RGBW она была установлена равной 244 Гц.

4.1. Принцип действия светорегулятора для СД

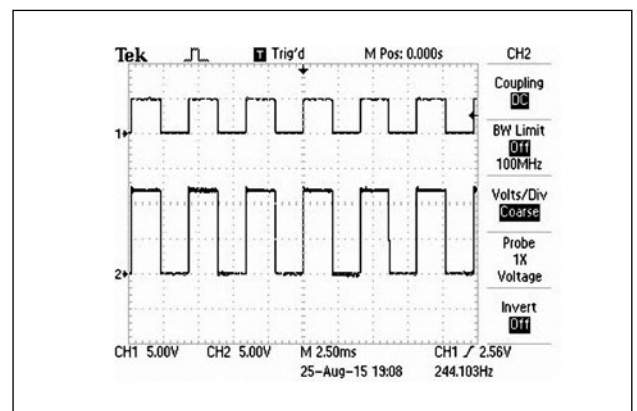
Т.к. СД представляет собой питаемый током полупроводниковый прибор, то его яркость пропорциональна протекающему через него току. Световой поток СД можно изменять посредством модуляции амплитуды тока.

Однако этот способ линейного светорегулирования не рекомендуется использовать в случае систем RGB, т.к. цветность их излучения зависит от амплитуды тока и температуры $p-n$ -перехода [9]. Для полупроводникового прибора, которым является СД, лучшим способом светорегулирования служит использование широтно-импульсной модуляции протекающего через него тока с варьируемым коэффициентом заполнения ШИМ-сигнала. Это позволит изменить освещённость протекающего через цепочку СД тока. Светорегулирование при помощи ШИМ обладает некоторыми преимуществами перед аналоговым или амплитудным светорегулированием, такими как стабильность цветности при изменении светового потока в интервале 0–100 % и линейная зависимость между коэффициентом заполнения и световым потоком СД. Результаты предшествующих исследований говорят о том, что подобное светорегулирование является в рассматриваемом случае самым подходящим, т.к. аналоговое светорегулирование приводит к изменению цвета излучения СД [9]. Так что в данном случае светорегулирование при помощи ШИМ было выбрано как наиболее подходящее решение стоящей перед нами задачи.

Для осуществляемого в соответствии с коэффициентом заполнения индивидуального включения и выключения СД использовались полупроводниковые переключатели, установленные последовательно с каждой из цепочек СД. Среднее значение обеспечиваемого УУ тока СД I_{avg} может быть записано как:

$$I_{avg} = \frac{I_{LED} \cdot T_{on}}{T_{on} + T_{off}}, \quad (7)$$

Рис. 7. Сигнал светорегулятора (CH1, 5В/дел.) и напряжение сток-исток (CH2, 5В/дел.) при коэффициенте заполнения 50 %. Временная шкала – 2,5 мс/дел.



Зависимость T_d от коэффициента заполнения для синего СД

№ п/п	Коэффициент заполнения для синего канала, %	T_d , К
1	0	3268
2	5	3394
3	10	3539
4	15	3692
5	20	3880
6	25	4100
7	30	4360
8	35	4664
9	40	4996
10	45	5420
11	50	5940
12	55	6581
13	60	7389
14	65	8341
15	70	9723

где I_{LED} – максимальный допустимый ток СД, который можно рассчитать по (6); T_{on} и T_{off} – продолжительности включения и выключения СД соответственно. Коэффициент заполнения можно менять в интервале от 0 до 100 %, в результате чего световой поток СД тоже будет меняться от 0 до 100 %. Схема последовательного подсоединения переключателя приведена на рис. 6, где переключатель Q_2 – это n -канальный мощный полевой МОП-транзистор *IRFZ44*. Для обеспечения требуемого включения и выключения подсоединённого последовательно светорегулирующего полевого МОП-транзистора Q_2 используется n - p - n транзистор Q_1 (*BC547*), который обеспечивает требуемое значение тока затвора Q_2 .

Из рис. 7 следует, что так как затвор полевого МОП-транзистора Q_2 заземлён через Q_1 , то при большой амплитуде сигнала светорегулятора напряжение на электроде стока МОП-транзистора Q_2 также будет большим, а при малой амплитуде сигнала светорегулятора напряжение на электроде стока этого МОП-транзистора также будет малым, в результате чего цепочка СД будет включена при малой амплитуде сигнала светорегулятора.

4.2. Генератор ШИМ-сигнала

ATmega32A – это имеющий низкое энергопотребление 8-битный AVR микроконтроллер на КМОП структурах со следующими характеристиками: внутрисистемно программируемая флэш-память ёмкостью 32 Кбайта с возможностью считывания и записи, четыре ШИМ-канала, 32 программируемых канала ввода-вывода, тактовая частота 0–16 МГц, электрически программируемое постоянное запоминающее устройство ёмкостью 1024 Кбайта, 32 резистора общего назначения и т.д. [10]. Генерация четырёх ШИМ-сигналов осуществляется посредством включения таймеров/счётчиков *Timer0*, *Timer1* и *Timer2* микроконтроллера *ATmega32A*.

Программа для генерации ШИМ-сигналов и программа для сопряжения клавиатуры и ЖК дисплея написаны при помощи *Atmel Studio 6.2* компании *Atmel Corporation* [11], а файл *HEX* загружается в микроконтроллер *ATmega32A* при помощи *USBASP* программатора для AVR микроконтроллеров.

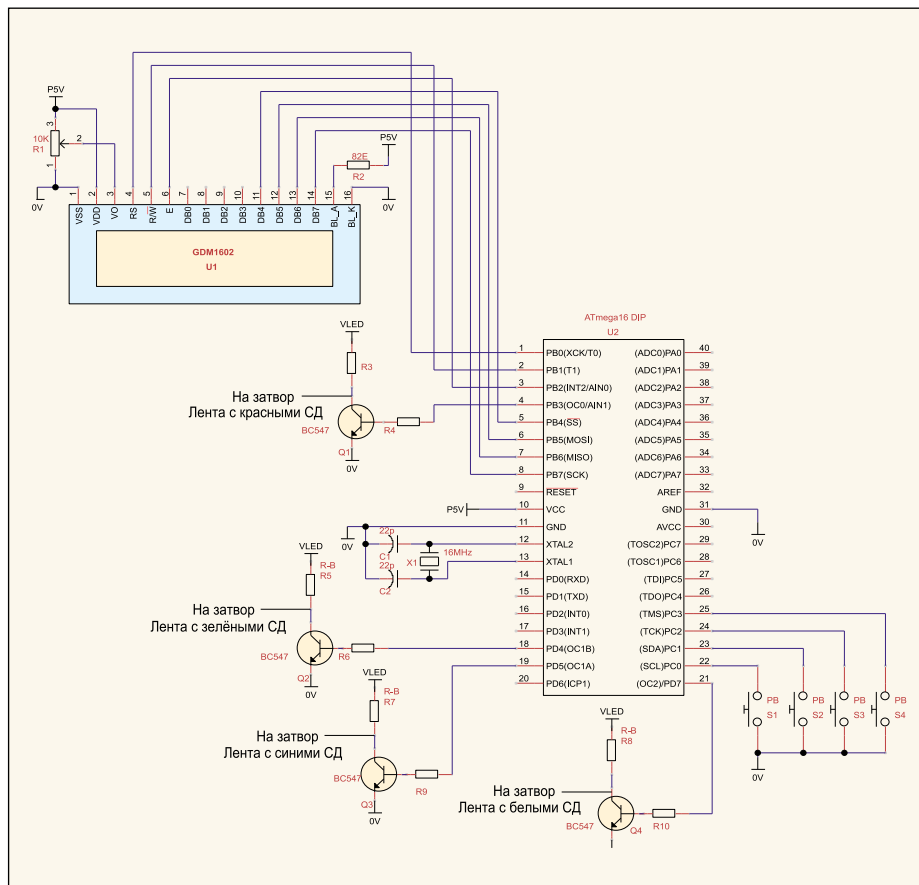


Рис. 8. Расположение выводов для подключения ЖК дисплея и клавиатуры к микроконтроллеру



Рис. 9. Установка для измерения T_c

Рис. 10. Связь между масштабированным смещением T_c и коэффициентом заполнения для синего канала

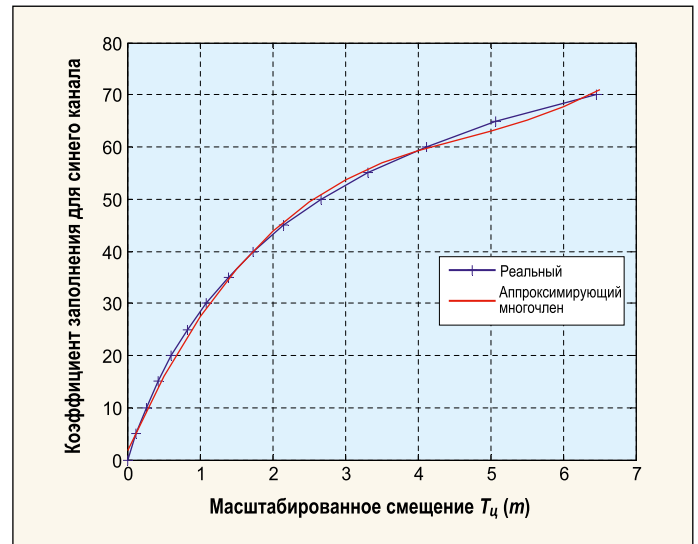


Рис. 11. Связь между масштабированным смещением T_c и коэффициентом заполнения для зелёного канала

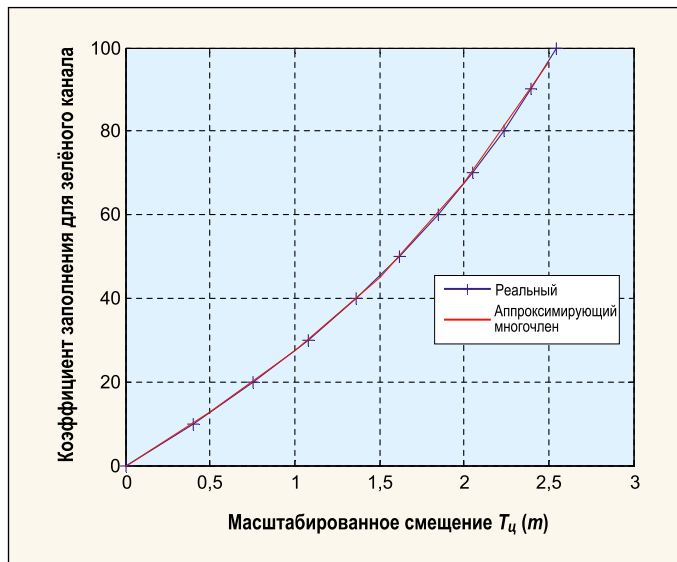
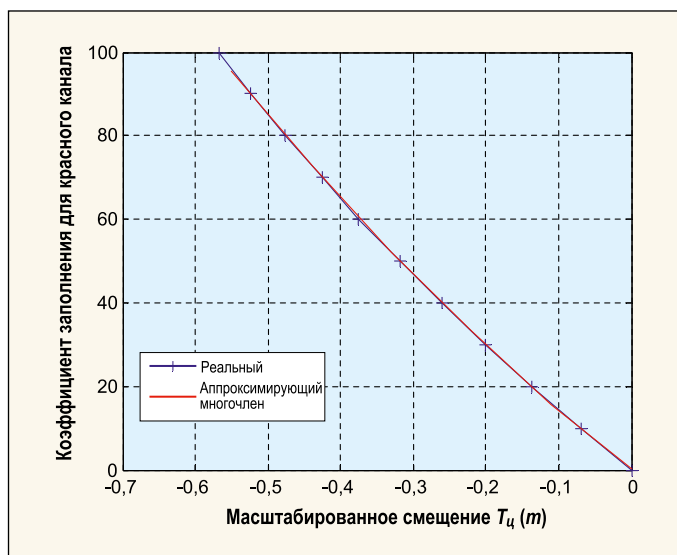


Рис. 12. Связь между масштабированным смещением T_c и коэффициентом заполнения для красного канала



Регистр $TCCR0$ управления таймером/счётчиком $Timer0$ микроконтроллера $ATmega32A$ используется для задания различных режимов

работы и выбора частоты. Регистр $OCR0$ используется для задания коэффициента заполнения генерируемого сигнала посредством срав-

нения данных в регистрах $OCR0$ и $TCNT0$.

Частоту генерируемого сигнала $F_{generated\ wave}$ можно рассчитать при помощи уравнения (8) [10]:

$$F_{generated\ wave} = \frac{F_{oscillator}}{256 \cdot N}, \quad (8)$$

где N – предварительно заданный масштабный множитель, который может быть равен 1, 8, 64, 256 или 1024 (было выбрано $N = 256$); $F_{oscillator} = 16$ МГц – частота генератора.

Таким образом, частота генерируемого сигнала будет равна 244,14 Гц.

Теперь можно определить коэффициент заполнения генерируемого сигнала [10]:

$$\begin{aligned} \text{Коэффициент заполнения} &= \\ &= \frac{OCR0 + 1}{256} \cdot 100, \quad (9) \end{aligned}$$

Параметр $OCR0$ может меняться в пределах от 0 до 255. Значение $OCR0$ можно задать при помощи клавиатуры в соответствии с нужным процентным составом $RGBW$ излучения. Для удобства пользователя, выраженные в процентах коэффициенты заполнения, соответствующие разным цепочкам $RGBW$ СД, выводятся на ЖК дисплей. То же самое можно повторить для $Timer1$ и $Timer2$.

Коэффициенты заполнения для цепочек $RGBW$ СД могут быть заданы посредством занесения при помощи клавиатуры соответствующих значений в регистры $OCR0$, $OCR1A$, $OCR1B$ и $OCR2$ соответственно.

Зависимости $T_{ц}$ от коэффициентов заполнения для зелёного и красного каналов СД

№ п/п	Коэффициент заполнения для зелёного/красного канала, %	$T_{ц}$ при добавлении излучения зелёного СД, К	$T_{ц}$ при добавлении излучения красного СД, К
1	0	3268	3268
2	10	3673	3198
3	20	4025	3132
4	30	4192	3067
5	40	4350	3008
6	50	4628	2950
7	60	4887	2893
8	70	5316	2842
9	80	5502	2791
10	90	5665	2745
11	100	5813	2700

4.3. Клавиатура и ЖК дисплей

Клавиатура используется для изменения коэффициентов заполнения для разных каналов в соответствии с требуемым составом смешанного излучения.

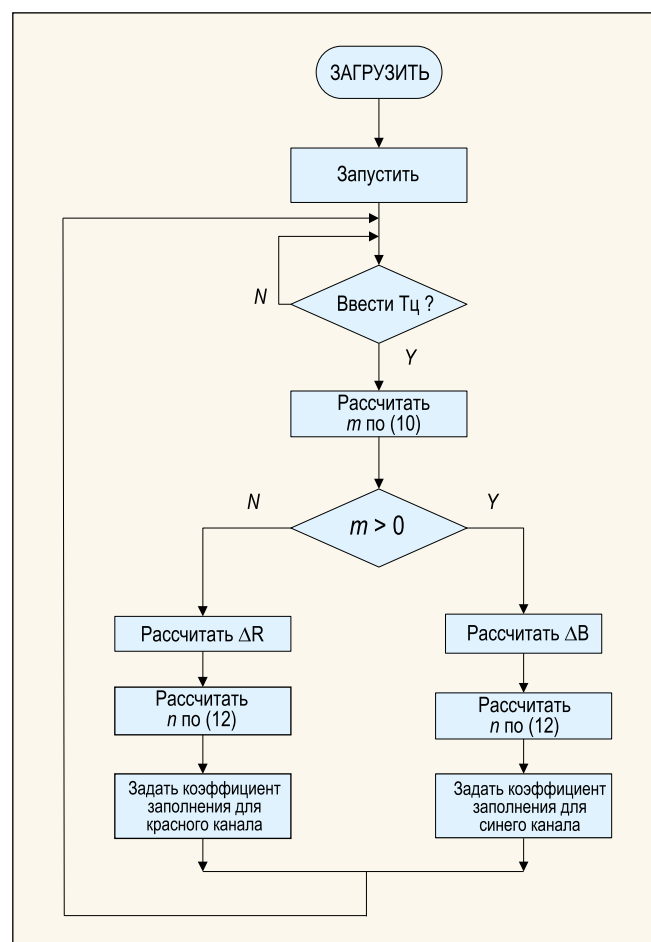
Расположение выводов для подключения к микроконтроллеру ЖК дисплея, клавиатуры и сигнала светорегулирования показано на рис. 8.

Для демонстрации параметров светорегулирования (т.е. процентного содержания компонентов в смеси) используется ЖК модуль *JHD162A*, способный демонстрировать 16 знаков и 2 строки [12]. Программа сопряжения клавиатуры написана таким образом, чтобы ограничить «дребезг» контактов и многократное нажатие клавиш клавиатуры.

5. Результаты экспериментов

Измерение $T_{ц}$ осуществлялось при изменении интенсивностей излучения красных, зелёных и синих СД по отношению к интенсивности излучения белых СД. $T_{ц}$ излучения светодиода *RGBW* измерялась при помощи прибора *Konica-Minolta CL200A Chroma Meter*. Эксперименты проводились в не имеющей окон комнате с окрашенными тёмной краской стенами, принадлежащей электротехническому факультету Университета Джадавпур, причём измерительный прибор располагался под *RGBW* источником света на расстоянии 1 м.

Рис. 13. Блок-схема алгоритма получения требуемого значения $T_{ц}$



Экспериментальная установка показана на рис. 9.

Так как $T_{ц}$ СД тёпло-белого света не сильно изменяется при светорегулировании в интервале 0–100 %, то показания снимали при 100 % яркости этих СД, что, к тому же, приводит к увели-

чению уровня освещённости. Другие уровни освещённости можно обеспечить, меняя коэффициент заполнения для белого канала. $T_{ц}$ измерялась при не превышающем 70 % коэффициенте заполнения для синего канала, так как при большем значении этого ко-

Таблица 4

Измеренные значения $T_{ц}$

№ п/п	Заданная $T_{ц}$, К	Измеренная $T_{ц}$, К	Ошибка, К
1	2700	2718	-18
2	3000	3011	-11
3	3500	3493	7
4	4000	3946	54
5	4500	4470	30
6	5000	5022	-22
7	5500	5601	-101
8	6000	6114	-114
9	6500	6620	-120
10	7000	7039	-39
11	7500	7370	130
12	8000	7745	255
13	8500	8170	330
14	9000	8656	344
15	9500	9433	67

эффицента заполнения $T_{ц}$ нельзя измерить при помощи *Konica-Minolta CL200A Chroma Meter* из-за большой синей составляющей. Зависимость измеренного значения $T_{ц}$ от коэффициента заполнения для синего канала представлена в табл. 2.

На основе табл. 2 можно автоматизировать процесс получения белого цвета с заданной $T_{ц}$. Для этого вводится новая переменная m , характеризующая масштабированное смещение $T_{ц}$:

$$m = (\theta(\Delta_B) - \theta(0)) / 1000, \quad (10)$$

где $\theta(\Delta_B) - T_{ц}$ излучения совокупности белых и синих СД при равном Δ_B коэффициенте заполнения для синего канала.

Теперь можно построить график зависимости Δ_B от m и при помощи *MATLAB®* аппроксимировать его кубическим многочленом (рис. 10):

$$\Delta_B = 0,4132 \cdot m^3 - 5,8318 \cdot m^2 + 31,0856 \cdot m + 1,8145. \quad (11)$$

Увеличивать порядок многочлена не стали по двум причинам: во-первых, это не приводит к увеличению точности аппроксимации во всём диапазоне изменения m , и во-вторых, это увеличивает продолжительность

проведения расчётов по приведённой ниже методике.

Регистры выбора коэффициента заполнения ШИМ-сигнала *OCR0*, *OCR1A*, *OCR1B* и *OCR2* микроконтроллера *Atmega32A* представляют собой 8-битовые регистры. Так что диапазон светорегулирования 0–100 % соответствует изменению содержимого регистра в интервале 0–255.

Содержащееся в регистре значение n можно рассчитать по формуле:

$$n = 2,55 \cdot \Delta_B, \quad (12)$$

входящий в которую коэффициент заполнения Δ_B рассчитывают по (11).

Ниже описан предлагаемый алгоритм выбора коэффициента заполнения, обеспечивающего получение требуемого значения $T_{ц}$.

Шаг 1: задайте требуемое значение $T_{ц}$ в интервале 3230–9723 К.

Шаг 2: при помощи уравнения (10) рассчитайте значение m .

Шаг 3: при помощи уравнения (11) рассчитайте значение Δ_B .

Шаг 4: при помощи уравнения (12) рассчитайте значение n .

Шаг 5: для получения требуемого значения $T_{ц}$ занесите полученное

значение n в 8-битовый регистр *OCR2* микроконтроллера *Atmega32A*.

Например, для получения $T_{ц} = 4100$ К при помощи тепло-белых и синих СД, коэффициент заполнения для синего канала должен быть равен 25 %, а содержащееся в регистре *OCR2* значение должно быть, соответственно, равно 64.

Этот процесс можно повторить для красного и зелёного каналов. Измеренные значения $T_{ц}$, полученные при смешивании излучения тепло-белого и зелёного и тепло-белого и красного излучения, лежали, соответственно, в интервалах 3268–5831 и 3268–2700 К при изменении коэффициентов заполнения для зелёного и красного каналов от 0 до 100 %. Зависимости $T_{ц}$ от коэффициентов заполнения для зелёного и красного каналов приведены в табл. 3.

Аппроксимирующие многочлены для зелёного (Δ_G) и красного (Δ_R) каналов имеют вид:

$$\Delta_G = 2,2750 \cdot m^3 - 0,4693 \cdot m^2 + 25,7082 \cdot m - 0,1606, \quad (13)$$

$$\Delta_R = 75,2395 \cdot m^2 - 132 \cdot m + 0,3191. \quad (14)$$

Эти полученные при помощи *MATLAB®* аппроксимирующие многочлены отображены графически на рис. 11 и 12.

Из данных, приведённых в табл. 2 и 3, следует, что для получения большего, чем у тепло-белого СД, значения $T_{ц}$ достаточно добавить излучение только синего СД, тогда как для получения меньшего, чем у тепло-белого СД, значения $T_{ц}$ можно использовать красный СД. Для автоматизации этого процесса разработан соответствующий алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 13.

Значения $T_{ц}$ были заданы при помощи клавиатуры с интервалом 500 К и измерены при помощи *Konica Minolta CL200A Chroma Meter* (табл. 4). Как следует из табл. 4, максимальные отклонения от заданных значений $T_{ц}$ при добавлении излучения красных и синих СД составили, соответственно, 18 и 344 К. Предложенный алгоритм автоматически выбирает синие СД для получения более высоких, чем у тепло-белых СД, значений $T_{ц}$ и красные СД для получения более низких значений $T_{ц}$.

6. Заключение

Показано, что для изменения $T_{\text{ц}}$ в интервале 2700–9723 К достаточно только тёпло-белых, красных и синих СД. Для получения $T_{\text{ц}}$ в ограниченном интервале 3268–5813 К можно использовать тёпло-белые и зелёные СД. Так что для имитации естественного света вместо RGBW СД можно использовать RBW СД, что приводит к уменьшению суммарной стоимости СД. Следует отметить, что освещённость на рабочей поверхности в данной работе не рассматривалась. В настоящее время проводятся работы по одновременному выбору $T_{\text{ц}}$ и освещённости при использовании осветительных приборов аналогичного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kim, J.K., Schubert, E.F. Transcending the replacement paradigm of a solid-state lighting // *Opt. Express*. – 2008. – Vol. 16, No. 26. – P. 21835–21842.
2. Protzman, J.B., Houser, K.W. LEDs for general illumination: the state of the science // *LEUKOS*. – 2006. – Vol. 3, No.2. – P. 121–142
3. Gilman, J.M., Miller, M.E., Grimaila, M.R. A simplified control system for a daylight-matched LED lamp // *Lighting Res. & Technol.* – 2013. – Vol. 45, No. 5. – P. 614–629.
4. Lin, K. – C., Lin, C. – S. The study of a novel control method of the mood lighting emulator // *Optics Communications Elsevier*. – 2015. – No. 350. – P. 71–76.
5. Buso, S., Spiazzi, G. White light solid state lamp with luminance and color temperature control // *Power Electronics Conference (COBEP), Brazilian, 2011*. – P. 837–843.
6. Irving, B.T., Jovanović, M.M. Analysis and Design of Self-Oscillating Flyback Converter // *APEC17th Annual. Con. IEEE.*, 2002. – Vol. 2. – P. 897–903.
7. Bullough, J.D., Hickcox, K., Sweater, K., Klein, T.R., Narendran, N. Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort // *Lighting Res. & Technol.* – 2011. – Vol. 43, No. 2. – P. 337–348.
8. Wu, C. – C., Hu, N. – C., Chen, J. – N., Chang, H. – I. Parameterised LED current regulator for pulse width modulation switch delay for accurate color mixing in multi-LED light sources // *Lighting Res. & Technol.* – 2014. – Vol. 46, No. 2. – P. 171–186.
9. Dyble, M., Narendran, N., Bierman, A., Klein, T. Impact of dimming white LEDs: chromaticity shift due to different dimming

methods // *P. Soc. Photo-Opt. Ins.* – 2005. – No. 5941. – P. 291–299.

10. 2015. Atmel ATmega32A [DATA-SHEET]. <<http://www.atmel.com/images/atmel-8155-8-bit-microcontroller-avr-atmega32a-datasheet.pdf>> Accessed 2015 December 11.

11. 05/2014. Atmel Studio 6.2 [RELEASE NOTES]. <http://www.atmel.com/images/as-studio6_2_1153-readme.pdf> Accessed 2016 January 23.

12. JHD162ASERIES datasheet <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/127934/ETC1/JHD162A.html>> Accessed 2016 January 23.

13. Golder, S., Mazumdar, S., Ray, K. A high efficiency DC to DC boost converter for white LED based lighting systems. An energy-efficient, cost-effective approach for rural application // *Light & Engineering*. – 2007. – Vol. 15, No. 2. – P. 53–58.

14. Гольдер С., Мазумдар С., Рэй К. Светильник с белыми светодиодами и высокоэффективным повышающим преобразователем постоянного тока // *Светотехника*. – 2007. – № 2. – С. 38–41.

15. Malik, R., Saha, S., Mazumdar, S. Development of Discrete Component based LED Driver with RGB PWM dimming // *Proc. of LUX Pacifica 2015, Kolkata, 27–29 November*. – P. 635–641.



Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar),

Ph.D. Профессор электротехнического факультета Университета Джадавпур, Индия, возглавляла Научно-техническую

и дизайнерскую светотехническую школу Университета Джадавпур (2006–2014 гг.) и Комиссию по образованию Общества инженеров-светотехников Индии. Имеет 29-летний опыт исследований и преподавания в области светотехники



Раджиб Малик (Rajib Malik),

М.Е. Аспирант электротехнического факультета Университета Джадавпур. Область научных интересов: интеллектуальные системы освещения

на солнечных батареях, электронные преобразователи для светотехники и управление цветом освещения

Институт им. Фраунгофера и компания Sefar разработали гибкий ОСД большой площади

Институт органической электроники, электронно-лучевой и плазменной техники им. Фраунгофера (*Fraunhofer Institute for Organic Electronics, Electron Beam and Plasma Technology FEP*) и компания Sefar AG разработали гибкий органический СД (ОСД) большой площади, изготавливаемый методом печати на непрерывной ленте-подложке, перематываемой с одного ролика на другой (метод «R2R»).



ОСД большой площади привлекательны для освещения многих жилых помещений, архитектурных объектов и автотранспортных средств. Однако проблемы с энергоэффективностью, сроком службы и стоимостью производства делают такое освещение слишком дорогим для массового применения.

Ранее компания Sefar разработала высокоэлектропроводные, прозрачные и гибкие электродные подложки, которые позволяют создавать равномерно светящиеся поверхности большой площади. И *Fraunhofer FEP* продемонстрировал соответствующий ОСД большой площади, изготовленный методом печатания схем на непрерывной ленте-подложке, перематываемой с одного ролика на другой.

Новая электродная подложка «SEFAR TCS Planar» имеет коэффициент пропускания выше 87%, её чрезвычайно высокая электропроводность обусловлена наличием встроенных металлических проводников, диаметр которых в настоящее время равен 40 мкм. Эти проводники уменьшают омические потери в электродной подложке. Кроме того, по мнению компании Sefar, такое уменьшение способствует созданию светотехнических изделий, имеющих большую площадь и более однородных по сравнению с обычными подложками (из чистого оксида индия и олова и т.п.). К тому же, встроенные металлические проводники более устойчивы к изгибу, чем нанесённые на плёнку толстые слои оксида индия и олова.

Sefar смогла решить проблемы, связанные с необходимостью сделать поверхность максимально гладкой в условиях, когда металлические проводники появляются на поверхности в качестве электрических контактов ОСД.

Штефан Могк, руководитель отделения печати органических материалов на непрерывной ленте: «Мы изготавливаем ОСД в вакууме методом «R2R» на подложках «SEFAR TCS Planar» с использованием специально разработанного процесса сушки и нанесения запирающего слоя. В результате мы наносим ОСД на ленту длиной 30 м и шириной 30 см, причём площадь ОСД достигает 250 см²».

solidstatelighting.net
30.06.2017

Пространство и время светового дизайна. Итоги Международной научно-практической конференции «Световой дизайн – 2016»

Е.Ю. ЛЕКУС

Университет ИТМО, Санкт-Петербург
E-mail: svslighting@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена обзору основных дискуссионных направлений Международной научно-практической конференции «Световой дизайн-2016», тема которой – «Свет. Пространство. Время». Профессиональное дизайн-сообщество, учёные, архитекторы, художники, инженеры, представители медиабизнеса и IT-технологий из девяти стран, включая Россию, обсуждали вопросы, связанные с интеграцией искусства и науки, световой средой города, технической культурой и новыми технологиями, а также с образованием в области светового проектирования.

Ключевые слова: конференция, световой дизайн, световая среда, город, человек.

Международная научно-практическая конференция «Световой дизайн», которая ежегодно проводится Университетом ИТМО, Высшей школой светового дизайна Университета ИТМО и творческим объединением светодизайнеров RULD, – это дискуссионная платформа нового типа, основанная на принципе многоуровневой интеграции.

Этот принцип позволяет выстраивать систему гибких взаимосвязей по вертикали (между разными сферами деятельности, областями знания и т.д.) и по горизонтали (между различными аспектами, ракурсами и т.д. в границах одной сферы или проблемной области). Единство этой подвижной структуры обеспечивает тема конференции, которая меняется ежегодно в соответствии с актуальной проблематикой и приоритетами рынка светового дизайна.

Благодаря такому подходу конференция является той активно генерирующей средой, в которой взаимодействуют друг друга фундаментальные и прикладные исследования, взаимодействуют наука и искусство, дизайн и психология, бизнес и технологии,

образуя новые точки пересечения разных областей знания и практического опыта их применения.

В 2016 году тема конференции – «Свет. Пространство. Время» – оказалась достаточно вариативной и пластичной для объединения в одном дискуссионном пространстве разных интересов и точек зрения, и вместе с тем вполне конкретной для того, чтобы чётко обозначить проблемное направление конференции. Наблюдавшееся разнообразие мнений, подходов, авторских позиций (35 спикеров, в том числе 9 иностранных хедлайнеров), число и состав участников (390 человек из 9 стран включая Россию), стали убедительным подтверждением того, что предложенная тема в равной степени актуальна для профессионального дизайн-сообщества, учёных, архитекторов, художников, инженеров, представителей медиабизнеса и IT-технологий (24 доклада и воркшоп).

Среди множества направлений отчётливо выделялись четыре: 1) интеграция искусства и науки (*Art&Science*); 2) световая среда города; 3) техническая культура и новые технологии; 4) образование в области светового проектирования. И в рамках этих направлений обсуждались следующие вопросы:

– свет – быстрый и эффективный инструмент для генерации идей и инноваций;

– роль гуманитарного знания в создании новых технологий;

– инвестиционные перспективы рынка XXI века;

– специфика современной световой культуры и формирование социального запроса на качественные общественные пространства;

– образовательная подготовка эксклюзивных специалистов.

Art&Science

Art&Science – одно из перспективных направлений в поиске новой

стратегии развития общества и способов взаимодействия между человеком и технологиями. Наука позволяет «очертить поле и работать в новых областях», тогда как искусство «позволяет заглянуть за эти области и интуитивно наметить тенденции будущего науки» [1, с. 30], – таковы, по мнению участников конференции, перспективы, открывающиеся благодаря интеграции этих двух важных сфер человеческой деятельности. Широкое использование носимой электроники и её влияние на общественные процессы (1); экспериментальные объекты, созданные с одновременным применением IT- и медиа-технологий, робототехники и фотоники (2); новые мультимедийные и интерактивные формы взаимодействия человека с искусственным светом (3) и обучающие мультимедийные симуляторы (4) – всё это уже стремительно меняет рынок идей, в частности, в индустрии светового дизайна [там же]. *Art&Science* демонстрирует разные способы интеграции новейших средств XXI века – робототехники, информационных технологий, биомедицины и оптики – в художественную практику и одновременно критически рассматривает их роль и использование в обществе.

Одним из результатов такого критического переосмысления стало появление технологии биомедиа, которую представила и продемонстрировала результаты её использования дизайнер-физиотерапевт К. Найдлингер. Биомедиа – это синтез экспрессивных технологий и светового дизайна, технология, которая предполагает биологическую обратную связь по отношению к пользователю и выступает в качестве средства коммуникации и повышения эмпатии. «Это способствует тому, что мы называем экстернализованной интимностью, демонстрацией внешнему миру того, как человек чувствует себя изнутри» – отметил К. Найдлингер [2, с. 32]. Биомедиа представлена в нескольких проектах smart-одежды, выполненной из оптоволокна или оснащённой многоцветными светодиодными элементами, соединёнными с датчиками, которые регистрируют человеческие чувства и эмоции через изменения сердечного ритма, частоты дыхания и активности разных участков мозга. Благодаря «умной одежде» сигналы, посылаемые человеком во внешнюю среду, обретают визуальное воплощение посредством цвета и света. При этом К. Найдлин-

гер обратила особое внимание на то, какие возможности открывает биомедиа в разных сферах, связанных с проявлением человеческих эмоций – создание новых коммуникативных каналов для общения с аутичными людьми, обучение систем искусственного интеллекта распознаванию разных эмоциональных состояний человека, улучшение понимания людьми своих собственных чувств и реакций.

Насколько новые технологии облегчают взаимодействие разных групп пользователей с внешним миром? Готов ли мир воспринять такую открытость и что он может предложить взамен этой откровенности? Не станет ли внутренний мир человека ещё более уязвим в результате размывания границ между частным и публичным? Эти же вопросы затронула в своём выступлении ещё одна участница конференции – В. Петресин, в художественных проектах которой обозначены новые точки пересечения искусства, науки и технологий. На основе теории гиперповерхности она анализировала как физические, так и существующие лишь в нашем сознании барьеры между внутренним миром человека и обществом, интегрируя этот исследовательский процесс с художественной рефлексией пространства, времени, тела, движения и эмоций. Используя взаимодействие звука, изображения и света, В. Петресин визуализировала трансформационные процессы, которые происходят с формой и внутри самой формы под воздействием информации. «Мои отзывчивые мультимедийные произведения – это исследование взаимодействия между техникой, культурой и обществом, а также перспектив и подводных камней, связанных с их пересечением» [там же].

На базе изучения влияния света на сознание, эмоции и поведение человека А. Спиридонова провела анализ более ранних примеров использования света как мощного и выразительного инструмента воздействия. Так, в ключевом произведении русского футуризма – опере «Победа над Солнцем» (1913 г.), световая партитура служит центральным элементом спектакля постановки и выделяет спектакль на фоне всей театральной практики того времени. Художественным оформлением спектакля занимался К. Малевич, новизна и своеобразие приёмов которого, по воспоминаниям современников, «заклучались прежде всего в использовании света как начала,

творящего форму, узаконивающего бытие вещи в пространстве» [3, с. 229]. Докладчик подчеркнула, что художественные эксперименты футуристов со светом предоставляют бесценный материал для исследования культуры современных световых перформансов.

Ещё одну точку зрения представил Д. Фридман – основатель светового театра «*Lux aeterna*». Он полагает, что в стрессовых условиях большого города человеку необходимо «интимное пространство» оздоровительного (терапевтического) театра, 1 минута пребывания в котором эквивалентна по меньшей мере 10–20 минутам привычного отдыха от воздействия внешнего мира [4].

Возможностям использования новых форм искусства и дизайна для улучшения экологии общественных пространств было посвящено выступление Т. Машталира. Звуковую скульптуру (*sonic sculpture*) – мультимедийное произведение, «оживающее» при контакте с человеком и взаимодействующее с ним и окружающим пространством с помощью света и звуков, можно было увидеть/услышать среди других произведений, представленных на небольшой выставке световых инсталляций, прошедшей на площадке конференции.

Взаимодействие искусства и науки получило образное воплощение в работах, представленных на конкурсах «СВЕТ: Мотивация или Манипуляция?» (лучшая световая инсталляция) и «*Light & Movies*» (лучший короткометражный фильм о свете), которые традиционно прошли в рамках конференции. Победителем конкурса световых инсталляций стала работа О. Солядкиной «Хрупкость памяти», показывающая, что тонкие нити воспоминаний оказываются единственной связью настоящего с прошлым. В коротком метре лидировал фильм «Свет есть в каждом из нас» (Б. Жук), посвящённый размышлениям о «человечности» света.

Отдельное внимание в рамках *Art&Science* было уделено проблемам архитектурного освещения и вопросам создания качественной световой среды для хранения, исследования и восприятия произведений искусства (Е. Артемьева, О. Круглов, Ю. Антипова). М. Фраскарولو поделился уникальным опытом проектирования специального освещения Сикстинской Капеллы. Исследовательские работы, которые длились около трёх лет, включали мно-

жество этапов: колориметрическая экспертиза, определение эталонного спектра освещения для точной регулировки светодиодов, моделирование и др. Благодаря регулируемым четырём светодиодным цветовым каналам (красный, зелёный, синий и тёпло-белый) сегодняшние посетители Капеллы могут видеть фрески такими, какими их воплотил 500 лет назад великий Микеланджело. Роли светодиодных технологий в разработке новых стратегий освещения для создания оптимальных условий хранения, восприятия произведений в выставочном контексте и формирования особой музейной «ауры» был посвящён доклад А. Шульца.

Размышляя над проблемой трансформации неосязаемого в осязаемое с помощью света, Е. Прозорова касалась разных аспектов взаимодействия материала, технологии, философии и искусства, в результате которого рождается «эмоционально переживаемое пространство» [5, с. 11]. В свою очередь, Н. Серов поверял гармонию алгеброй и анализировал свет как «инструмент для генерации идей на уровне информационных моделей». «Адекватное представление сложных систем требует построения информационных моделей (ИМ), в которых информация обладает универсальной размерностью для всех без исключения объектов природы и (или) культуры» – привёл базовую аксиому теории и методологии хроматизма докладчик [6, с. 53]. Использование этой методологии позволяет соотносить «информацию естественного света с информацией новой культуры/цивилизации»: «онтологически релевантная ИМ света может строиться с учётом и материальных планов анализа света (Фарадей → Максвелл → Бор-Шрёдингер), и идеальных (Платон → Гёте → Серов)» [там же].

Световая среда города

Пространственная организация любой искусственно созданной среды всегда несёт на себе печать актуальных для своей эпохи представлений о пространственно-временном устройстве мира. Сегодняшняя реальность представляется человеку неоднозначной и лишённой определённости, эти представления во многом влияют на организацию современных общественных пространств и их световые решения – отметила в своём докладе Е. Лекус [7,

с. 9]. Окружающая нас световая среда ночного города – это реальность, созданная человеком в эпоху, когда медиа, как «неотъемлемый элемент современного урбанизма, в котором видят решение кризиса городов [...], активно подрывают традиционные режимы пространства и времени» [8, с. 14]. Насколько эта реальность пригодна для обитания человека и отвечает запросам общества на формирование пространства – социального, культурного, урбанистического информационного? Каким образом световая среда влияет на социальные процессы и образ жизни людей? Эти и другие вопросы рассматривались участниками конференции в контексте освещения городов.

Развивая в практическом ключе тему «человек – общество – световая среда», Я. Вуоринен ознакомил аудиторию с проектами кибер-физических пространств, созданных с помощью светового дизайна, дизайна цифрового контента и светового искусства. Благодаря творческому осмыслению возможностей освещения свет превращается в «движущую силу для общения, коллективного искусства и взаимодействия», эффективный способ «усиления социальной сплочённости» и информационной «разгрузки» в новой коммуникативной среде [9, с. 14]. Применение в комплексе принципов биомимикрии, сенсорики, компьютерного зрения и печатной электроники позволяют создавать «умную среду», которая «реагирует» на разные ситуации, индивидуальные предпочтения и эмоции людей, и с этой точки зрения кибер-физические пространства могут рассматриваться как аналог живых систем, активно взаимодействующих с человеком.

Ночная урбанистика – ещё одно перспективное направление в рамках аутентичного подхода, который сегодня применяется в городах мира с высоким уровнем световой культуры. Принципы, методологию и убедительные примеры ночной урбанистики представил Р. Нарбони. Она является альтернативой освещению городов, которое практиковалось с середины XX в. как «реакция на непрерывное увеличение городского автотранспорта» [10, с. 16]. Ночная урбанистика, учитывающая образ жизни людей в ночном городе, культурные особенности и традиции, потребности жителей – это принципиально иная стратегия в формировании све-

товой среды, ориентированная на человека и будущие морфологические изменения общественного пространства.

Проблема гуманизации городского пространства посредством освещения поднималась целым рядом докладчиков. Практикуемые до недавнего времени два подхода – функциональное и архитектурно-художественное освещение – не в состоянии создавать единую световую среду, которая формирует уникальный образ города. «Эти два подхода упускают из виду одну очень важную деталь – освещение для людей [...] Освещение, спроектированное в соответствии с выявленными нуждами города способно выявить скрытые слои городской ткани, улучшить качество проектирования, подчеркнуть культурные особенности и усилить социальные связи» – отметил А. Масорин [11, с. 26]. Внедрение практики мастер-планирования уже доказало свою эффективность в решении этой проблемы, поскольку она позволяет осуществлять одновременную детальную проработку всех проектов освещения города.

Тенденция к комплексному рассмотрению совокупности факторов, влияющих на развитие города и его световой среды как целостного явления, объединила самые разные темы докладов и проблематику круглых столов: «необходима формализация социальных задач светового дизайна, поскольку многоплановое социальное и предсказательное моделирование – сложнейшая и крайне важная задача для города, которая в области освещения решается пока что лишь на вербальном уровне» (из выступления В. Васильева); «зелёные насаждения должны подсвечиваться не только функционально-утилитарным освещением или праздничной иллюминацией к каким-то событиям, но и грамотно выполненными установками архитектурного освещения» [12, с. 23]; «выбор художественной стратегии при проектировании световых сцен очень важен [...] инсталляции обладают большим потенциалом и должны учитывать все нюансы пространства и специфику восприятия» [13, с. 17]; «рождённые пластическими искусствами идеи и нетривиальный подход к освещению городских пространств, способны разрушить шаблоны восприятия предметно-пространственного окружения, не только отражая язык современной визуальной культуры и калькируя её пла-

стические приёмы, но создавая современный и в то же время способный развиваться во времени прецедент светового дизайна городов и компонентов их предметного наполнения» [14, с. 22].

Ещё одним важным вопросом, который многоаспектно обсуждался на конференции, был и остаётся вопрос о влиянии техногенного фактора на разные стороны жизни человека.

Техническая культура и новые технологии

Одной из наиболее острых проблем, влияющих на качество жизни в городе, остаётся проблема визуального хаоса, создаваемого световой рекламой. Помимо негативного влияния на эстетику городской среды и неконтролируемую информационную нагрузку на человека избыточное количество световой рекламы несёт реальную угрозу жизни и здоровью горожан, так как создаёт акценты, отвлекающие внимание водителей автотранспорта.

В решении этой сложной и актуальной задачи доказывает свою эффективность разработка методов исследования скорости реакции водителя при разных начальных условиях с помощью технологии ай-трекинга. На сегодня известен ряд методов изучения отвлекающих факторов и их влияния на людей, но все они оказываются недостаточно эффективными при комплексном анализе большого количества визуальной информации, (С. Колгушкина, В. Житлов). Технология ай-трекинга, которая применяется в психологии и исследованиях веб-сайтов, позволяет «тестировать скорость реакции водителя на большое число внешних раздражителей», а также «определять реальный уровень интересов и фокусировки» [15, с. 28].

Проблеме повышения уровня безопасности в городской среде была посвящена значительная часть выступления С. Мителёва, который убедительно аргументировал необходимость внедрения нового подхода к освещению потенциально опасных зон. Он подчеркнул, что при проектировании световой среды пешеходных переходов особое внимание следует уделять освещению пешехода, переходящего дорогу, а не самого перехода.

Технологии, которые стремительно меняют облик современного города, не только решают многие насущные во-

просы, но и ставят новые задачи перед специалистами. Например, использование светодиодного оборудования в архитектурном освещении создаёт в ряде случаев существенные трудности из-за чрезмерной насыщенности цвета, «которая возникает при использовании светодиодного оборудования в синтезе с новыми материалами зданий» [16, с. 25]. В связи с этим рассматриваются разные способы, «позволяющие снижать насыщенность светодиодного излучения с помощью детальной проработки материалов фасадов или конструкции светильников» [там же].

Другой аспект взаимодействия материала освещаемого объекта и света раскрывается в процессе применения цветного освещения и цветовой динамики. На данном этапе такой тип освещения применяется для создания или изменения цветового оттенка освещаемой поверхности и делает актуальными результаты анализа «взаимодействия света и формы с помощью изменения цвета освещения» [17, с. 36].

Образование

«Никто кроме нас не будет заниматься обучением молодых. Мы должны делать, то, что от нас не просят, ибо иначе нас об этом не попросят никогда» – эта фраза, сказанная Р. Нарбони на круглом столе по проблемам образования в области светового дизайна, стала своего рода лейтмотивом данного дискуссионного направления конференции.

Современные подростки и студенты – так называемое «поколение Z», представители новой коммуникативной культуры, которая формируется в условиях тотальной информатизации общества. Они обладают той спецификой восприятия и обработки информации, которая требует принципиально новых образовательных стратегий, технологий коммуникации и методик передачи знаний. Докладчики и участники круглого стола по проблемам современного образования в области светового проектирования сталкиваются с этой проблемой постоянно. Их обмен опытом по разработке, внедрению и оценке эффективности новых экспериментальных методик обучения составил основную часть дискуссии на круглом столе.

«Две основные задачи современного образовательного процесса, который нацелен на результат и соответствует

запросам времени, заключаются в формировании нового подхода к пониманию мира и определению междисциплинарных связей [...] Навык анализа множества факторов, умение формировать внутренние взаимосвязи между ними и выбирать обоснованное решение становится необходимым. Важно не просто видеть мир, но и владеть проектным (контекстуальным) мышлением» – так обозначила вектор современного образовательного процесса Н. Быстрянцева [18, с. 43]. По мнению И. Риттера, современный световой дизайн основывается на выводах и результатах научных исследований, поэтому он является дисциплиной, которую нужно изучать и которой следует учить, в будущем бакалаврская и магистерская степени в световом дизайне должны быть признаны как «образовательный старт» в профессиональной жизни.

Развивая тему *Art&Science* в рамках образовательного направления, В. Карпенко раскрывал логику формообразующих возможностей света на основе философских, психологических идей и оптического искусства: «проектная цель световой композиции выражается в разнообразии, вариативности и контекстуальности применения её принципов и средств при создании новых приёмов освещения городских пространств, градостроительных ансамблей и доминант, зданий и сооружений, световых форм и светопластики» [19, с. 49].

Итоги

Конференция «Световой дизайн – 2016» позволила сделать «пространственно-временной» срез основных тенденций в развитии системы «человек – световая среда». Часть поднимавшихся участниками проблем в ходе обсуждений обрела перспективу своего решения, вместе с тем получили конкретику новые вопросы, ответы на которые ещё только предстоит найти в будущем.

На фоне широкого спектра направлений и докладов конференции особо обращает на себя внимание смещение акцента в сторону гуманистической составляющей светового дизайна и средовой проблематики в целом. Это подтверждает тот факт, что сегодня световой дизайн становится той сферой, в которой «человеческий масштаб» является определяющим в процессе технологического преобразования окружающего мира.

Общие выводы по дискуссионной части конференции в основном таковы:

- Новые способы взаимодействия человека с пространством, информацией и другими людьми в условиях формирования новой парадигмы коммуникативной культуры – одна из основных задач, решаемых в разных областях и сферах профессиональной деятельности, связанных с формированием среды (социальной, урбанистической, световой и др.)

- Только благодаря внедрению инновационных образовательных стратегий, основанных на принципах проблемного подхода, междисциплинарности, интеграции научных и творческих методов, возможно воспитание нового типа профессиональной личности – следующего поколения светодизайнеров, готовых работать со сложной проблематикой современного мира в её различных контекстах.

- Поиск новых методов и алгоритмов обработки колоссального объёма данных для повышения качества световой среды – сверхактуальная задача для практикующих специалистов.

- Конкурентоспособность на современном «световом» рынке обеспечивают уже не столько технологии, сколько идеи и целостное прогностическое видение – вывод, который меняет представления о перспективах развития светодизайна.

Анализ обсуждаемых на конференции вопросов, перспективных направлений в световом проектировании и актуальных тенденций рынка светового дизайна определил выбор темы будущей конференции «Световой дизайн – 2017». Ею станет «Идентичность сквозь световую среду».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быстрянцева Н.* Искусство и наука в действии / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Световой дизайн». – Санкт-Петербург: Ун-т ИТМО, 2016. – С. 29–31.
2. *Neidlinger K.* Biomedica expressive technology. Animating the body with visual and tactile displays / Там же. – С. 31–32.
3. *Лившиц Б.* Полутораглазый стрелец: Стихотворения, переводы, воспоминания. – Л.: Сов. писатель, 1989. – С. 449.
4. *Fridman D.* Sanitary theatre in the city / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Световой дизайн». – Санкт-Петербург: Ун-т ИТМО, 2016 – С. 34–35.
5. *Прозорова Е.* Путешествие вокруг солнца / Там же. – С. 10–11.

6. Серов Н. Свет – время – информация / Там же. – С. 52–54.

7. Лекус Е. Световая среда: человек в пространстве современности / Там же. – С. 8–10.

8. Маккуайр С. Медийный город: медиа, архитектура и городское пространство. – М.: Strelka Press, 2014. – 527 с.

9. Vuorinen J. Bringing back the narrative / Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Световой дизайн». – Санкт-Петербург: Ун-т ИТМО, 2016. – С. 14–16.

10. Narboni R. Urban lights, nocturnal urbanity / Там же. – С. 16–17.

11. Масорин А. Мастер-план освещения исторического центра Великого Новгорода / Там же. – С. 26–27.

12. Хаджин А. Искусственный свет в зелёных рекреациях вдоль улиц и магистралей столицы. Внутри, снаружи и на Садовом кольце / Там же. – С. 23–24.

13. Копцева Н., Тарасенко В. Световое решение как импульс к изменениям городского пространства / Там же. – С. 17–19.

14. Силкина М. Световое искусство в дизайне городского оборудования / Там же. – С. 20–22.

15. Kolgushkina S., Zhitlov V. Research methodology for urban lighting environment using eye-tracking technologies / Там же. – С. 27–28.

16. Шальнева Н. Свето-цветовые эффекты и оптические иллюзии в наружном освещении / Там же. – С. 24–25.

17. Дубиновская А. Исследование влияния цветного света на восприятие формы / Там же. – С. 35–37.

18. Быстрынцева Н. Задачи современного образовательного процесса / Там же. – С. 42–44.

19. Карпенко В. Свет как смысл: световая композиция в учебном проектировании процесса / Там же. – С. 48–49.

Seoul Semiconductor и Toshiba Materials представили светодиоды с широкими спектрами излучения

Компании *Seoul Semiconductor* и *Toshiba Materials* на пресс-конференции в Германии представили новые корпусированные светодиоды (СД) серии «SunLike», которые этим летом поступят в продажу в Сеуле и частично основаны на люминофорах «TRI-R» компании *Toshiba*. Эти СД будут иметь равномерный широкий спектр излучения (СИ), больше похожий на СИ солнца, чем на типичные СИ белых СД. В них использованы фиолетовый (400–410 нм) кристалл и тройная смесь – красного, зелёного и синего – люминофоров, что обеспечивает хорошую цветопередачу и исключает пик излучения в сильной части спектра, который обычно ассоциируется с СД на основе синих кристаллов.

Директор по маркетингу компании *Toshiba Materials* сказал, что СД на основе люминофора TRI-R получают близкую к 100 оценку цветопередачи в метриках R_f (точность) и R_g (палитра), введённых стандартом TM-30, выпущенным МКО в 2015 г. с целью для замены общего индекса цветопередачи R_a (правда, TM-30 пока что не получил международного признания). СИ СД на основе «TRI-R» и обычных белых СД показаны на рисунке (слева и справа соответственно).

СД «SunLike» похожи на СД компании *Soraa* (на базе фиолетового кристалла), не имеющие синего пика.

Андреас Вайсл, исполнительный директор и вице-президент по продажам в Европе компании *Seoul Semiconductor Europe*, отметил, что

СД серии SunLike в первую очередь предназначены для освещения жилищ, объектов здравоохранения и архитектуры, гостиничного бизнеса и розничной торговли. Именно там важно качество света. И широкий равномерный спектр излучения этому соответствует.

Кроме того, по словам Вайсла, СД «SunLike» найдут применение и в таких областях, которые неохотно принимали СД источники света. Одним из примеров служит сельское хозяйство, в котором СД хорошо проявили себя при освещении ряда культур, но не имеют, как у НЛВД, широкого спектра и большой доли излучения в жёлто-зелёном диапазоне. (Согласно современным представлениям, культуры, направленные на получение большой биомассы, помимо красного и синего света нуждаются ещё в жёлтом и зелёном свете.)

Кроме того, уже одно только исключение синего пика может сделать эти изделия более безопасными для здоровья людей.

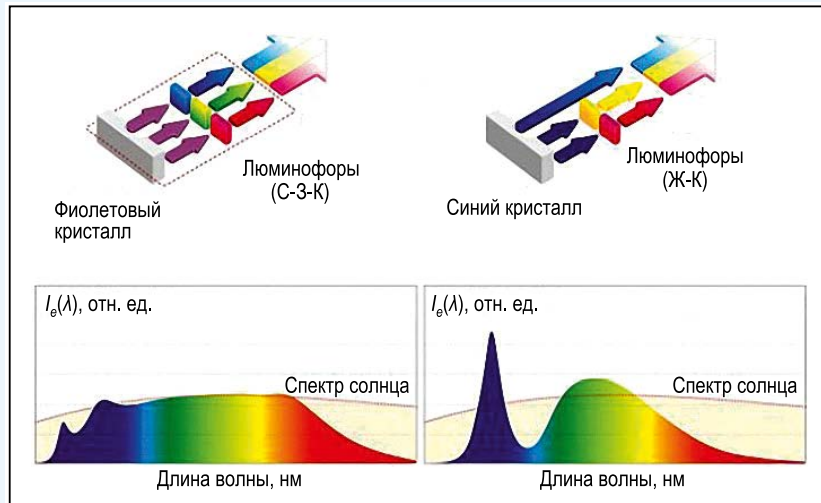
Seoul Semiconductor не сообщила никаких подробностей о технических характеристиках новых СД, если не считать упомянутые выше метрики из TM-30. В то же время, *Seoul Semiconductor* отметила, что световая отдача новых СД будет на 10% ниже, чем у наилучших СД этой компании. Однако этот недостаток присущ всем СД с высоким качеством цветопередачи.

ledsmagazine.com
27.06.2017



Лекус Елена Юрьевна, кандидат культурологии. Окончила в 2000 г. СПбГХПА им. А.Л. Штиглица и в 2013 г. – аспирантуру Московского гуманитарного университета.

Доцент Высшей школы светового дизайна Университета ИТМО и кафедры искусствоведения и культурологии Центра инновационных образовательных проектов СПбГХПА им. А.Л. Штиглица. Член творческого объединения светодизайнеров RULD, творческого объединения «Студия креативной вещи» и Ассоциации искусствоведов. Соавтор и художник скульптурного ансамбля «Первая скрипка». Лауреат Всероссийской выставки «DESIGN LAND'09»



Мощный импульсный ИК прожектор

Б.И. АВДОЧЕНКО, Ю.Р. КИРПИЧЕНКО, И.Н. ПУСТЫНСКИЙ

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск
E-mail: AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru

Аннотация

Рассматриваются вопросы модификации серийных ИК прожекторов непрерывного действия для работы в импульсном режиме с большой скважностью. Приведена методика получения предельно допустимого потока излучения в импульсе без ущерба для надёжности работы прожектора. Рассмотрен пример подобной модификации; получены 36-кратное повышение потока излучения ИК прожектора в импульсе, существенно усилившее ИК освещение (ИК «подсветку») объектов телевизионного наблюдения при сохранении мощности источника питания, и уменьшение влияния оптических помех. Основные характеристики модифицированного ИК прожектора: поток излучения в импульсе – более 460 Вт и длительность импульса – (0,15–10) мкс,

Ключевые слова: ИК прожектор, импульсный режим, повышение потока излучения, методика определения предельного потока излучения.

Введение

Мощные импульсные источники ИК излучения находят широкое применение в оптических системах двойного назначения. Появившиеся в последнее время мощные ИК диоды (ИКД) с наносекундным временем переключения постепенно вытесняют лазерные излучатели из устройств ИК освещения. ИКД имеют меньшую стоимость, большую долговечность и, за счёт меньшей монохроматичности излучения, позволяют получать более качественные изображения освещаемых объектов. Применение при этом активно-импульсного режима наблюдения даёт значительные преимущества при работе в условиях ограниченной видимости и сильных оптических помех, обеспечивает повышенную скрытность наблюдения.

Основные проблемы разработки ИК прожекторов (ИКП) большой мощности, ограничивающие область их применения, – сложность формирования

нужной индикатрисы излучения при большом количестве ИКД и реализации максимально допустимого потока излучения каждого ИКД при заданной длительности импульса излучения.

Для решения первой проблемы в ИКП используют системы фокусирующих линз, позволяющие суммировать потоки излучения ИКД путём подбора размещения последних и расстояния между ними и линзами. Разработка подобных сложных фокусирующих систем оправдана при серийном производстве ИКП, но в ряде случаев целесообразнее модифицировать серийные ИКП непрерывного действия с готовыми фокусирующими системами для импульсного режима работы.

Для решения же проблемы максимизации потока излучения в импульсе (ПИИ) необходимо знать соответствующие ватт-амперные характеристики ИКД в импульсном режиме работы, отсутствующие в справочной литературе. Производитель, как правило, рекламирует потребляемую мощность, дальность обнаружения и индикатрису излучения ИКП. Ограниченный объём информации в заявленных характеристиках, а зачастую и расхождение их с реальными, вызвали необходимость собственного определения максимального ПИИ ИКД при заданной длительности импульса экспериментальным путём.

Цель данной работы – оценка возможности модификации серийных ИКП непрерывного действия для работы в импульсном режиме с макси-

мально допустимым ПИИ без ущерба для надёжности работы ИКП. Для достижения этой цели разработаны методика определения предельных возможностей конкретного ИКД (1), схема импульсного источника питания для получения максимального ПИИ при параллельно-последовательном соединении ИКД (2) и конструкция модифицированного ИКП (3), а также исследованы характеристики последнего.

Методика определения предельного потока излучения ИК диода в импульсе

Уровень излучения мощных ИКД линейно растёт с ростом их прямого тока до определённого повышения температуры активной области кристалла. В непрерывном режиме работы максимальный поток излучения ИКД ограничен возрастанием сопротивления его активной области (с разогревом кристалла), снижающим КПД ИКД до единиц процентов. При большой скважности импульса питания, в случае «квазихолодного» режима работы, разогрев ИКД практически исключён, и его пиковый ПИИ может быть увеличен пропорционально скважности прямого импульсного тока в десятки и сотни раз [1]. Однако при чрезмерных амплитудах и длительностях импульса питания возможен выход ИКД из строя даже при подаче однократного импульса питания.

Визуально процесс разогрева кристалла ИКД можно наблюдать по изменению формы ПИИ ИКД при подаче импульсного тока питания. Снижение КПД в результате разогрева связано с возрастанием уровня спада вершины ПИИ (рис. 1).

При критическом уровне этого спада (30–50%, в зависимости от кон-

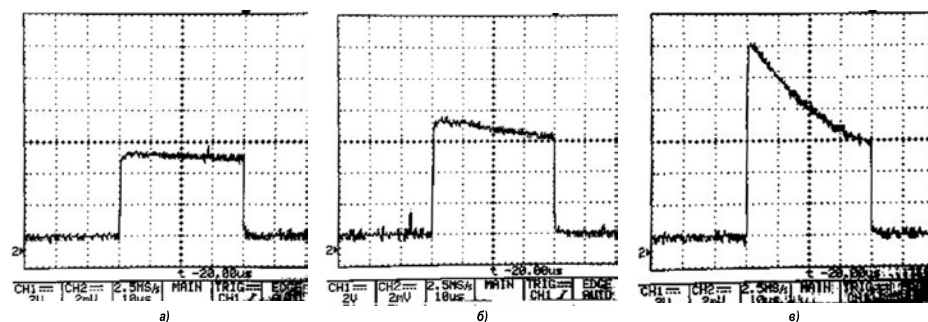


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на выходе фотоприёмника: а – слабый нагрев кристалла диода, б – максимально допустимый нагрев кристалла диода, в – температура кристалла выше допустимой

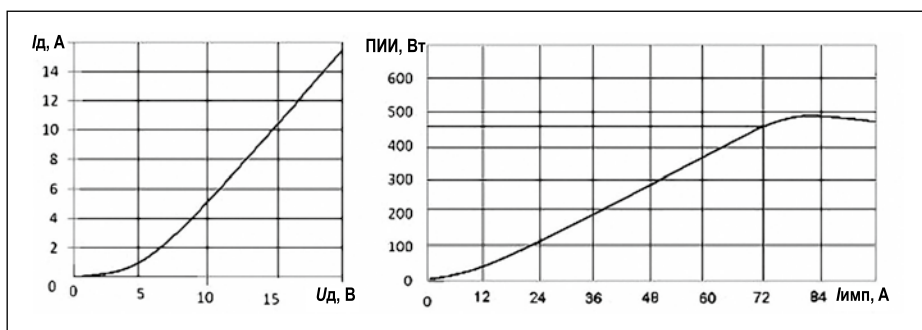


Рис 2. Экспериментальные характеристики в импульсном режиме: а – вольт-амперная характеристика ИК диодов, б – ватт-амперная характеристика ИК прожектора

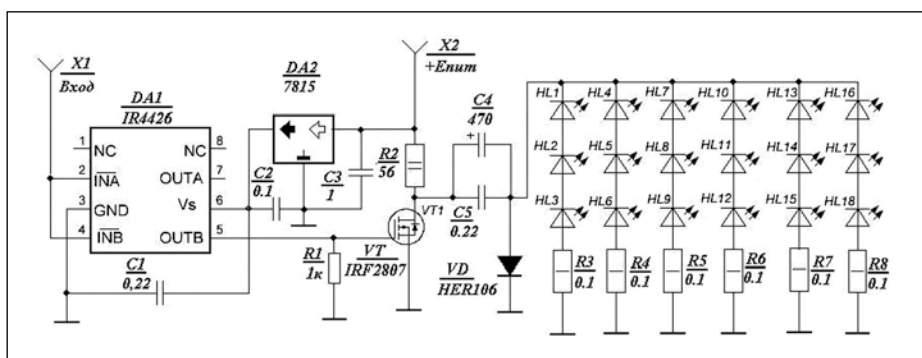


Рис 3. Электрическая схема прожектора с коммутатором питания

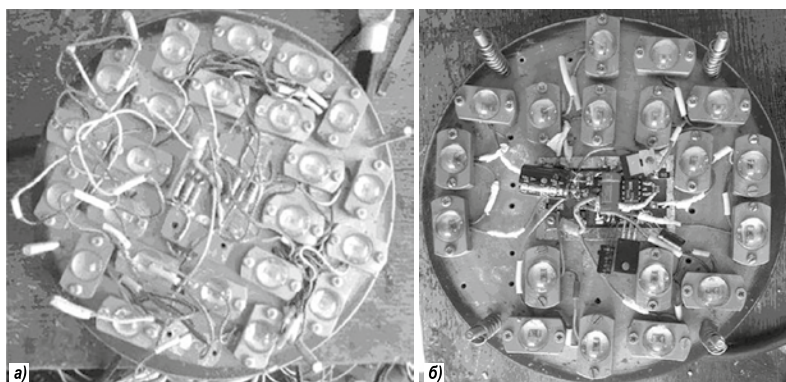


Рис 4. Внешний вид прожектора со снятой оптической системой до (а) и после (б) модификации

струкции ИКД) температура кристалла близка к предельной, хотя температура корпуса ИКД при большой скважности может быть и небольшой. В таком режиме заметно снижается время безотказной работы.

Экспериментальным путём установлено, что уровень спада вершины осциллограммы ПИИ в (10–15)% позволяет получать максимальный выходной ПИИ без ущерба для срока службы и КПД ИКП. При заданной длительности оптического импульса такой уровень спада определяет предельные импульсный ток конкретного ИКД и напряжение на нём.

В качестве примера рассмотрим модификацию ИКП типа ПИК-10 разработки НТФ «Тирэкс», с непрерывным потоком излучения (на длине волны 850 нм) каждого используемого ИКД (700–800) мВт при прямом токе 800 мА и потребляемой мощности 4 Вт. Прибор, содержащий 24 ИКД, в непрерывном режиме даёт поток излучения в 17–20 Вт.

Экспериментально снятые ВАХ отдельных ИКД в импульсном режиме при длительности импульса 10 мкс, скважности более 100 и уровне спада вершины оптического импульса в 20% приведены на рис. 2, а, а ватт-амперные характеристики

прожектора, состоящего из 18 ИКД в импульсном режиме – на рис. 2, б. Как видно из рис. 2 в целом, в этом случае максимальный импульсный ток питания одного ИКД I_d составил 12 А при напряжении на нём U_d 17 В, а ПИИ ИКП в импульсном режиме – 460 Вт (общий импульсный ток питания $I_{имп}$ – 72 А), то есть при меньшем количестве ИКД (18 вместо 24) ПИИ повысился в 36 раз.

Схема прожектора

Модифицированный ИКП был выполнен в виде двух блоков: генератора импульсов управления и собственно прожектора с коммутатором питания (рис. 3). Генератор импульсов состоит из сетевого источника питания, генератора импульсной последовательности с перестройкой частоты следования, формирователя синхроимпульса, электронной линии задержки и формирователя длительности импульса [2].

Для регулировки ПИИ с целью получения максимальной контрастности изображения объектов в разных условиях наблюдения используется регулировка напряжения питания коммутатора [3]. Максимально допустимый импульсный ток ИКД при напряжении питания 56 В составляет 75А.

При модифицировании ИКП, типа ПИК-10, для работы в импульсном режиме особое внимание было уделено минимизации индуктивности проводников в цепи протекания выходного тока транзистора $VT1$. Коммутатор установлен в корпусе ИКП на месте стабилизатора тока. Для уменьшения индуктивности оптимизировалось расположение элементов коммутатора, укорачивались проводники ИКД и увеличивалось сечение проводников печатной платы припайкой дополнительного проводящего жгута. Нижняя сторона печатной платы металлизирована и соединена с общим проводом и корпусом ИКП. Выводы питания микросхемы $DA1$ заблокированы чип-конденсаторами с низкой внутренней индуктивностью. Фотографии ИКП со снятой оптической системой до и после модификации приведены на рис. 4.

Вид модифицированного ИКП с установленной оптической системой показан на рис. 5, а, а на рис 5, б приведена форма светового пятна, полученная с помощью этой системы.

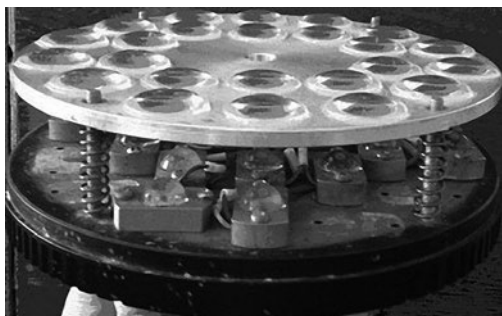


Рис. 5. Внешний вид прожектора с установленной оптической системой и форма светового пятна

Диаметр светового пятна на расстоянии 2 м составил 40 см, что соответствует паспортной индикатрисе излучения «исходного» ИКП.

Результаты модификации прожектора

Модифицированный ИКП используется в активно-импульсной телевизионной системе наблюдения. Изменением частоты, длительности входного импульса и напряжения питания параметры импульса адаптируются под условия наблюдения. Длительность выходного импульса излучения регулируется в пределах (0,15–10) мкс, а значение ПИИ – (10–460) Вт. Максимальная частота следования импульсов ограничивается их скважностью и при длительности импульсов 1 мкс не должна превышать 10 кГц. Угол излучения модифицированного ИКП не превышает 12°.

Заключение

Приведённая методика позволяет получать максимальный ПИИ модифицированного ИКП при заданных длительности и частоте следования выходного импульса излучения с сохранением надёжности работы. Высокий ПИИ модифицированного ИКП позволяет во многих применениях заменять ИКП непрерывного действия и улучшать качество изображения освещаемого (ИК-подсвечиваемого) объекта наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдоченко Б.И., Вилисов А.А., Пушкарёв В.П., Тепляков К.В., Юрченко В.И. Источник мощных оптических импульсов на диодах инфракрасного диапазона длин волн // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – С. 53–55.

2. Авдоченко Б.И., Титов А.А., Пушкарёв В.П. Генератор видеоимпульсов // Радиолобитель. – 2008. – № 7. – С. 32–33.

3. Авдоченко Б.И., Вилисов А.А., Пушкарёв В.П., Тепляков К.В., Юрченко В.И. Импульсный ИК прожектор с управляемой мощностью / Сборник докладов 18-й Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь (RLNC*2012)» – Воронеж, 2012. – Т. 1. – С. 190–195.



Авдоченко Борис Иванович, доктор техн. наук. Окончил в 1971 г. Томский институт радиозлектроники и электронной техники (ТИРЭТ). Профессор кафедры радиозлектроники и защиты

информации Томского государственного университета систем управления и радиозлектроники (ТУСУР)



Кирпиченко Юрий Романович, кандидат

техн. наук. Окончил Томский институт автоматизированных систем управления и радиозлектроники (ТИАСУР). Доцент кафедры телевидения и управления ТУСУР



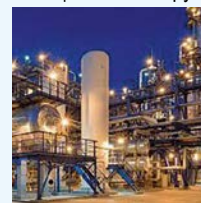
Пустынский Иван Николаевич, доктор техн.

наук, профессор. Окончил в 1956 г. радиотехнический факультет Томского политехнического института. Профессор кафедры

телевидения и управления ТУСУР. Заслуженный деятель науки и техники РФ

«Газпромнефть-Восток»
проведёт эксплуатационные
испытания уличных светильников
мощностью 500 Вт, разработанных
Объединённым холдингом
«Росэлектроника» госкорпорации
«Ростех»

Светильники такой мощности предназначены для освещения специальных и крупных площадей, таких как складские помещения, самолетные ангары, судовые верфи, сборочные самолетостроительные цеха и другие площади



с высотой потолков более 20 м. Световой поток светильника – 55 клм. Корпус светильника изготовлен методом экструзии, а его оригинальная форма предотвращает налипание снега, оседание пыли, что обеспечивает стабильную теплопередачу.

Ожидается, что испытания, которые пройдут на объекте заказчика «Кустовая площадка № 1 Южно-Табаганского месторождения», завершатся в августе текущего года.

Светильники разработаны АО «НИИ полупроводниковых приборов» (НИИПП, Томск), который входит в холдинг «Росэлектроника», на основе ранее созданной серии осветительного оборудования «Sled Street» мощностью 40–150 Вт со световым потоком 4–15 клм соответственно. Серия разработана на базе светодиодов собственного производства НИИПП со световыми потоками 120–140 Лм. Единый для всей серии корпус демонстрирует уникальное соотношение светового потока и массогабаритных показателей.

В изделиях разной мощности в рамках серии «Sled Street» световой поток формируется разным образом. Так, в светильниках мощностью 40–100 Вт задействованы отражатели из многослойного алюминия, аналогичного материалам, используемым в современных автомобилях при формировании головного света. При этом коэффициент отражения – 98,5%. Конструкции светового модуля светильников даёт равномерность освещения при установке опор освещения с шагом более 30 м.

Световой поток светильников большей мощности – 150 и 500 Вт, с широкой индикатрисой излучения – формируется за счёт применения в качестве излучателей светодиодов с направленным излучением. И разработана модель светильника мощностью 500 Вт с 40°-индикатрисой излучения, формируемой с помощью отражателей.

lightrussia.ru
06.07.2017

Оценка яркости фонового свечения ночного неба на примере Санкт-Петербурга

С.В. КОЛГУШКИНА, В.Т. ПРОКОПЕНКО, С.В. РОСЛЯКОВА

Университет ИТМО, Санкт-Петербург
E-mail: svkolgushkina@corp.ifmo.ru

Аннотация

С каждым годом в черте крупных городов возрастает составляющая фонового свечения неба. Основные причины: расширение границ городов, стремительный рост технических возможностей, нерациональное проектирование осветительных установок и отсутствие контроля качества проектов освещения. Данные астрономических наблюдений подтверждают значительный рост яркости нижних слоёв атмосферы, обусловленный факторами земного происхождения. Наиболее острый характер проблема приобретает для обсерваторий, расположенных вблизи крупных городов, которые осуществляют борьбу за возможность дальнейшего проведения исследований. Оценка яркости фонового свечения ночного неба является на данный момент актуальным направлением для исследований. В работе рассматривается модель расчёта яркости неба для г. Санкт-Петербурга, рассматривается позиция наблюдения со стороны Пулковской обсерватории. Модель разработана на языке программирования *Python* на основе метода Гарстанга.

Ключевые слова: свечение неба, яркость неба, фоновая яркость

Введение

Увеличение яркости фонового свечения ночного неба происходит вследствие диффузного рассеяния искусственного света на содержащихся в атмосфере загрязняющих веществах, парах воды и пыли. Впервые оценку яркости нижних слоёв атмосферы провели сотрудники департамента астрономии университета города Падуа, Италия. Будучи обеспокоенными темпами прироста свечения, П. Чинзано, Ф. Фальчи и С. Эльвидже составили первый атлас по данным, полученным с помощью предназначенного для метеорологических исследований спутника [1].

Помимо экспериментальных астрономических исследований, для оценки фоновой составляющей свечения неба используются возможности моделирования соответствующих условий. Наиболее упрощённая модель оценки яркости неба – модель Уокера [2], учитывающая численность населения и удалённость наблюдателя от города.

Более сложная модель, принимающая во внимание аппроксимацию для малых углов с учётом механизмов рассеяния частиц, была предложена Бертау и Тринором [3]. Допущения, принятые в модели – однородность состава атмосферы, направленность рассеяния частиц аэрозоля в видимой части спектра.

Модель Тринора была доработана Гарстангом [4] с учётом неоднородности атмосферы. В доработанной методике был учтён экспоненциальный характер зависимости плотности молекул и частиц аэрозоля от высоты. Модель Гарстанга отзывчиво показала себя на примере большого числа американских обсерваторий, таких как Маунт Уилсон, Ликская обсерватория, Паломарская обсерватория, Китт-Пик, Сакраменто-Пик, Мауна-Кеа, МакДоналд [5], и по-прежнему активно используется для проведения исследований [6,7,8].

Цель работы заключалась в исследовании фоновой составляющей свечения неба с помощью модели Гарстанга, адаптированной для города Санкт-Петербурга с учётом численности населения 18 районов города по данным Петростата и с учётом данных по количеству осветительных приборов ГУП «Ленсвет».

Методика исследования

Модель была разработана с помощью языка программирования *Python* 3 с подключаемыми библиотеками *numpy*, *sympy*, *sympy.plotting* в среде разработки *Jupiter Notebook*. *NumPy* – библиотека высокоуровневых математических функций с возможностью

поддержки больших многомерных массивов. *SymPy* – активно развивающаяся библиотека для символьных вычислений.

Рассматривалась точка наблюдения со стороны старейшей обсерватории страны – ГАО РАН, расположенной на Пулковских высотах. Расстояние от каждого из районов города до точки наблюдения не превышает 50 км, и в связи с этим в работе не учитывается кривизна поверхности Земли.

Был учтён вклад естественного свечения ясного неба в случае отсутствия искусственной засветки при минимальной солнечной активности, который при переходе к системе световых величин составляет $0,00017$ кд/м².

В модели было учтено Релеевское рассеяние молекул атмосферы с поперечным сечением $\sigma_R = 4,6 \times 10^{-27}$ см² на длине волны 550 нм, многократное рассеяние молекул и частиц аэрозоля, поглощение в нижних слоях атмосферы для вертикального распространения частиц в соответствии с законом Ламберта-Бера.

Модель предполагает следующие допущения:

- молекулы, входящие в состав атмосферы, находятся в гидростатическом равновесии
- плотность аэрозоля является экспоненциальной функцией
- атмосфера однородна по горизонтали

Распределение интенсивности излучения в верхнюю полусферу оценивалось по формуле [11]:

$$I_{up} = \frac{LP}{2\pi} \cdot \{2G(1-F) \cdot \cos\psi + 0,554 \cdot F\psi\}, \quad (1)$$

где G – альbedo поверхности, F – доля светового потока, излучаемого светильниками в верхнюю полусферу, P – численность населения, L – световой поток на душу населения.

Основное уравнение модели для яркости неба [9]:

$$b = \pi \cdot I_{up}(\psi) \cdot S^{-2} \cdot \int du \cdot e^{-\tau(s)} \cdot (1 + SAA) \cdot e^{-\tau(u)} \quad (2)$$

На основе статистических данных ГУП «Ленсвет» и данных по численности населения Петростата [10] было получено значение среднего свето-

вого потока на душу населения 670 лм. Для каждого района был получен общий средний световой поток с учётом численности населения. Значение альbedo поверхности земли было принято равным 0,15, доля светового потока, излучаемого светильниками в верхнюю полусферу 0,13. На основе модели Гарстанга была произведена оценка яркости для ясного неба с учётом естественного свечения 0,00017 кд/м².

Для каждого из районов была произведена оценка интенсивности излучения в верхнюю полусферу при различных значениях зенитного угла, $z = 0^\circ$ и $z = 45^\circ$

Усреднённое значение яркости с учётом 18 районов составило: при наблюдении в направлении 45° в сторону города – 0,17 кд/м², при наблюдении в направлении 0° в сторону города – 0,21 кд/м², что хорошо согласуется с данными наземных экспериментов, предоставленными ГАО РАН для ясного неба в безлунную ночь с низкой солнечной активностью при переходе от астрофизических величин к световым.

Заключение

По данным ГАО РАН яркости объектов исследования при переходе к световой системе величин варьируются в пределах от 0,017 до 43000 кд/м². При этом, яркость 1700 объектов наблюдения относительно невысока и составляет от 0,0017 до 1,7 кд/м². Таким образом, 15% объектов находится в потенциальной опасности с точки зрения возможности проведения измерений. Среди объектов в зоне риска – спутники Урана, астероиды, параллаксы, звёзды с подозреваемым невидимым компонентом.

Дальнейший интерес представляет:

- доработка модели и программного кода с учётом прогнозирования влияния нового строительства вблизи обсерватории;
- доработка модели и программного кода с учётом влияния различных погодных условий;
- более детальный учёт изменений естественного свечения неба в течение года;
- учёт спектрального состава излучения;
- сопоставление результатов, полученных путём моделирования с экспериментальными данными;

Рис. 1. Схематическое изображение распространения света со стороны города к наблюдателю. Излучение от элемента $dx dy$ в т. С с координатами (x, y) достигает наблюдателя в т. О. [4]

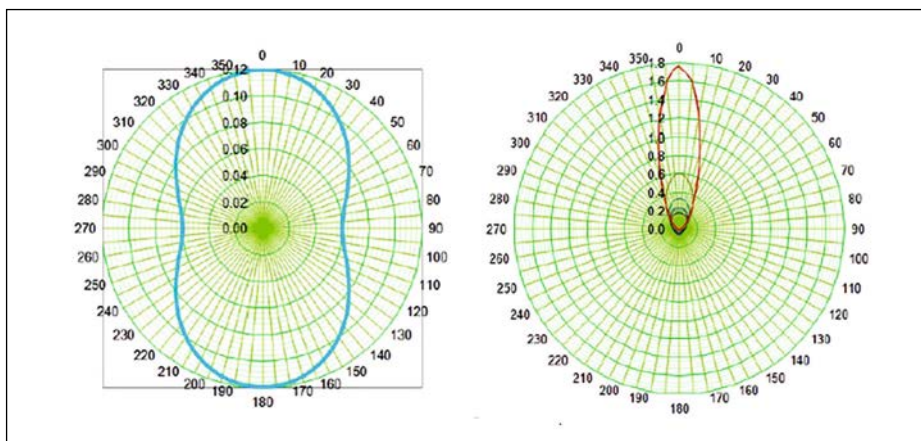
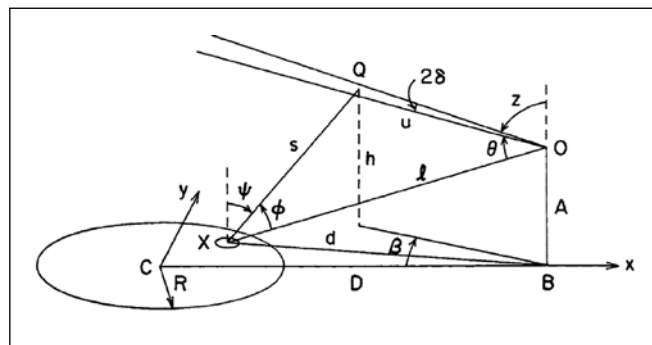


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния молекулярных компонентов атмосферы (слева) и частиц аэрозоля (справа)

- исследование возможностей уменьшения яркости неба путём внедрения систем управления.

Дискуссия

Вопрос снижения фоновой составляющей свечения неба и оценка степени её влияния как на жизнь человека, так и на точность астрономических наблюдений является актуальным, но в России на данный момент недостаточно изучен. Расширение границ городов и отсутствие требований, регулирующих долю светового потока в верхнюю полусферу и режим работы осветительных установок, порождает прогрессирование проблемы.

В настоящее время экологические запреты, влияющие на снижение яркости неба, существуют в пяти странах мира. В ряде стран разработаны рекомендации по проектированию освещения, направленные на рационализацию решений. С точки зрения проектирования освещения для снижения динамики прироста свечения неба требуется учёт закономерностей распространения света в нижних слоях атмосферы и характера рассеяния на различных частицах, входящих в её состав, а также

внедрение систем управления наружным освещением для снижения уровня яркости освещаемых поверхностей в ночные часы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Cinzano, F. Falchi and C.D. Elvidge. The first World Atlas of the artificial night sky brightness. Publ. Mon. Not. R. Astron. Soc. 2001, 328, 689–707.
2. Walker, M.F. The Effects of Urban Lighting on the Brightness of the Night Sky. Publ. Astron. Soc. Pacific 1977, 89, 405–409.
3. Bertiau, F. C., de Graeve, E. Treanor, P.J. The Artificial Night-Sky Illumination in Italy. Vatican Observatory Publ. 1973, 1, 159–179.
4. Garstang, R.H. Model for Artificial Night-Sky Illumination. Publication of the Astronomical Society of the Pacific 1986, 98, 364–375.
5. Garstang, R.H. Night-Sky Brightness at Observatories and Sites. Publ. Astron. Soc. Pacific 1989, 101 306–329.
6. Luginbuhl, C. B., et al. From The Ground Up I: Light Pollution Sources in Flagstaff, Arizona. Publ. Astron. Soc. Pacific 2009, 121, 185–203.
7. Luginbuhl, C. B., et al. From the Ground Up II: Sky Glow and Near-Ground Artificial Light Propagation in Flagstaff, Ar-

izona. Publ. Astron. Soc. Pacific 2009, 121, 204–212.

8. Duriscoe, D.M.; Luginbuhl, C. B.; Elvidge, C.D. The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities. Publ. Lighting Res. Technol. 2014; Vol 46: 35–49

9. Shirkey, R.C. Sky Glow from Cities: The Army Illumination Model v2 Army research laboratory 2011, 36

10. Численность населения Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] // Петро-стат. – Режим доступа: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat/resources/8edf748043800e918160d3dd898fc419/Численность+населения+Санкт.pdf (дата обращения 09.11.2015).



Колгушкина Светлана Владимировна Магистр техники и технологии по направлению «Электроника и наноэлектроника» по программе «Теоретическая и приклад-

ная светотехника». Окончила НИУ «МЭИ» в 2012 г. Обучается в аспирантуре Университета ИТМО (Санкт-Петербург, Россия). svkolgushkina@corp.ifmo.ru



Прокопенко Виктор Трофимович Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., проф. кафедры Световых технологий и оптоэлектроники, Университет ИТМО. Окончил государственный

электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина) в 1963 году по специальности «Диэлектрики и полупроводники»



Рослякова Светлана Витальевна Магистр техники и технологии по направлению «Электроника и наноэлектроника» по программе «Теоретическая и приклад-

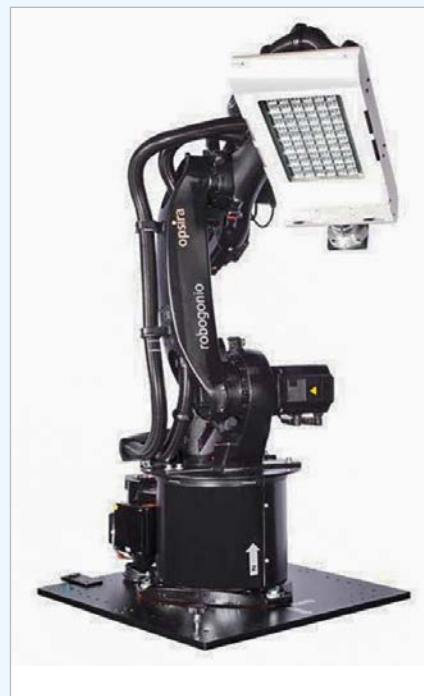
ная светотехника». Окончила НИУ «МЭИ» в 2012 г. Обучается в аспирантуре Университета ИТМО (Санкт-Петербург, Россия). Области научных интересов: световая среда города и влияние света на биоритмы человека

Первая роботизированная фотометрическая установка *Robogonio*

Первая в мире роботизированная фотометрическая установка *Robogonio* компании *Opsira* позволяет фотометрировать светильники с различными источниками света линейной, квадратной формы.

Robogonio компании *Opsira* создан совместно с компанией *KUKA*, являющейся одним из ведущих поставщиков робототехники в мире.

Конструкция *Robogonio* позволяет объединить в одном приборе сразу несколько типов гониофотометров (*DIN5032–1*, *DIN EN13032–1*, *CIE121*). Так, в дальнем поле *Robogonio* измеряет распределение интенсивности света и напрямую генерирует данные в форматах *EULUMDAT* и *IES*.



Реализация энергосервисного контракта в Тюмени, ХМАО и ЯНАО

ООО «БЛ ТРЕЙД» и АО «ТЭК» завершили проект по модернизации систем освещения на объектах АО «Тюменьэнерго» в рамках исполнения энергосервисного контракта.

Тюменская энергосбытовая компания выполнила комплекс работ по демонтажу и монтажу осветительных приборов на 27 производственных объектах филиалов АО «Тюменьэнерго» и заменила 6138 светильников на современные энергосберегающие светильники со светодиодами.

В рамках договора энергетики также произвели замеры активной мощности систем освещения до и после монтажа. Они показали, что вновь установленные светильники со светодиодами российского производства торговой марки «*GALAD*» обладают улучшенными световыми качествами, но при этом потребляют меньше мощности в отличие от старых светильников. Срок служ-



бы светодиодных ламп, которыми были оснащены объекты АО «Тюменьэнерго», составляет порядка 10 лет. В сумме эти мероприятия позволят производственным подразделениям заказчика снизить затраты на электроснабжение и содержание систем освещения. В частности, энергоэффективные мероприятия затронули филиалы АО «Тюменьэнерго»: Ноябрьские, Северные, Нижневартовские, Нефтеюганские электрические сети и Тюменские распределительные сети.

bl-g.ru
24.07.2017

Влияние драматургии светового сценария на эффективность сеанса аудио-визуальной стимуляции

Н.В. МАТВЕЕВ, М.Л. ПАШКЕВИЧ

Университет ИТМО, Санкт-Петербург
E-mail: matveev_nv@mail.ru, pashkevich_mariya@mail.ru

Аннотация

Работа относится к области разработки немедикаментозных средств снижения стресса и улучшения продуктивности труда. Рассмотрено влияние драматургического базиса на эффективность аудио-визуальной стимуляции для целей повышения работоспособности. На группе из 40 человек показано, что аудио-визуальные сценарии, построенные на основе драматургического базиса, на 38% эффективнее повышают работоспособность при выполнении монотонной работы, чем сценарии без такового ($p = 0.12$).

Ключевые слова: психологическое здоровье, повышение работоспособности, снижение стресса, арт-терапия, аудио-визуальная стимуляция

Введение

В настоящее время непрерывно производится поиск новых средств и методов снижения уровня стресса (в том числе стресса на рабочем месте), повышения продуктивности деятельности, повышения психо-эмоционального здоровья человека и улучшения уровня жизни [1, 2].

Одним из направлений в этой области является художественное творчество: исследования показывают положительное влияние на состояние человека как занятий искусством, так и такой деятельности, как посещение музеев, театров [3].

Ранее было предложено использование свето-звуковых спектаклей театра «lux aeterna» в качестве базы для разработки средств снижения уровня стресса и повышения продуктивности [4]. Результаты исследований подтвердили положительное влияние фрагмента светомузыкального спектакля театра на изменение произвольного внимания, темпа психомоторной деятельности и устойчивости к моно-

тонной деятельности, требующей постоянного сосредоточения внимания.

Целью настоящего исследования было определение влияния на эффективность сеанса драматургического базиса, на основе которого моделируется аудио-визуальный контент. Драматургия (сценарий, либретто последовательного развития и взаимодействия абстрактных световых и звуковых образов) трансформируется в свето-звуковую партитуру, при этом на формирование светового образа влияют световая форма, динамика мощности излучения, динамика спектра излучения.

Описание эксперимента

Для эксперимента было подготовлено четыре типа аудио-визуального контента. Динамика мощности лазерного излучения во время сеанса пред-

ставлена на рис. 1 и одинакова для всех четырёх типов контента. Контент первого типа представляет собой оригинальный фрагмент спектакля театра «lux aeterna» «Gravitation: Zero», продолжительностью 260 с. Динамика спектра излучения изменяется согласно световой партитуре (рис. 2). Три оставшихся контента включают тот же самый музыкальный фрагмент, имеют динамику мощности излучения аналогично представленной на рис. 1, но используют монохроматическое излучение на длинах волн 445, 520, 637 нм соответственно для каждого типа.

В эксперименте приняло участие 40 человек (студенты Университета ИТМО в возрасте от 19 до 23 лет, 50% – девушки). Участники были разделены на четыре фокус-группы. Респондент проходил тест на основе колец Ландольта, после чего подвергался аудиовизуальному воздействию и снова проходил тест. Тест на основе колец Ландольта хорошо зарекомендовал себя в многочисленных исследованиях по определению влияния условий освещения на продуктивность работ [5].

Методика

Каждый респондент до и после просмотра аудио-визуального контента проходил тест на основе колец Ландольта, в ходе которого на экране мо-

Рис. 1. Динамика мощности лазерного излучения во время сеанса

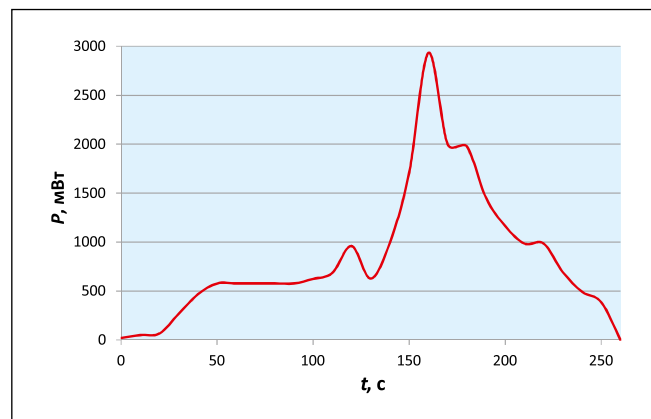
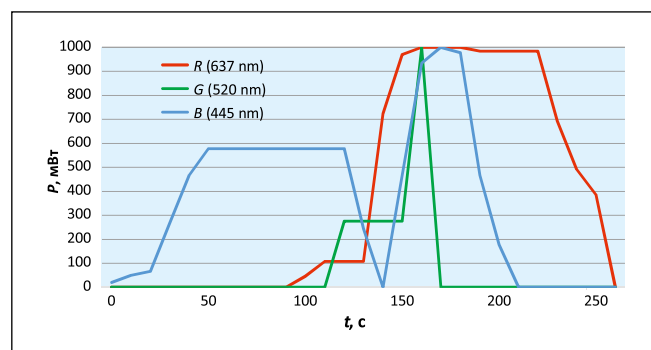


Рис. 2. Динамика спектра излучения оригинального фрагмента



Изменение показателей для разных типов контента ($p=0.12$)

Динамика изменения спектра	Δn	ΔN	ΔS
Оригинальный сценарий	–	10%	11%
Без динамики, $\lambda=445$ нм	–	6%	8%
Без динамики, $\lambda=520$ нм	–	–	0%
Без динамики, $\lambda=637$ нм	0%	5%	5%

нитора ему предъявлялась таблица, аналогичная представленной на рис. 3, величина каждого символа которой соответствовала 14 пт. Респонденту было необходимо кликом мышки отмечать символы определённой ориентации. На один тест отводилось 5 минут, после каждой минуты респондент мог сделать перерыв. По итогам подсчитывалось количество просмотренных символов и количество допущенных ошибок. Учитывались ошибки двух типов: пропуск заданного символа и отметка неправильного символа. В результате продуктивность оценивалась по формуле:

$$S = \frac{N}{2} - \frac{2.8n}{60}, \quad (1)$$

где S – показатель продуктивности, N – количество просмотренных символов, характеризует скорость переработки информации, n – общее количество ошибок, характеризует точность.

Для оценки результатов воздействия использовались средние по группе значения показателя продуктивности до и после аудио-визуального сеанса S_1 и S_2 соответственно, а также изменение данного показателя:

$$\Delta S = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100, \%$$

Обсуждение результатов

В таблице 1 представлены средние значения по всем респондентам для изменений показателей точности, скорости переработки информации и продуктивности для каждого типа контента.

Различные исследования [6, 7] характеризуют влияние цвета:

- голубой рекомендуется для монотонной работы, концентрирующий / синий рассеивает внимание, расслабляет;

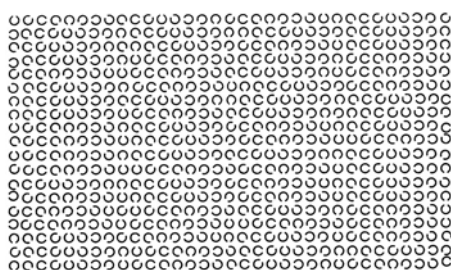


Рис. 3. Тест-таблица корректурной пробы Ландольта

- зелёный способствует умственной деятельности, позволяет сосредоточиться, успокаивает;
- красный свет способствует увеличению работоспособности, «креативности» при непродолжительном воздействии.

Результаты корректурных проб Ландольта в целом соответствуют данным описаниям, эффекты от сценариев можно описать следующим образом:

- сценарий на длине волны 445 нм повышает точность выполнения задания (Δn отрицательно – количество ошибок снижается), одновременно с этим повышается скорость переработки информации;
- сценарий на длине волны 520 нм в большей степени повышает точность выполнения – концентрацию, при этом понижает скорость переработки информации;
- сценарий на длине волны 637 нм не влияет на точность, но повышает скорость переработки информации.

Таким образом, точность переработки информации характеризует концентрацию, сосредоточенность, а скорость переработки информации – работоспособность. При этом эффект расслабления может быть двух типов: умеренный (в случае сценария 445 нм) – результатом является восстановление сил и повышение работоспособности, и сильный (в случае сценария 520 нм) – в результате работоспособность понижается. Обратный механизм активации в случае сценария 637 нм по-

зволяет получить практически эквивалентное сценарию 445 нм повышение работоспособности. Сценарии 445 и 520 нм примерно одинаково повышают концентрацию, сценарий 637 нм на неё не влияет.

Наивысшие показатели наблюдаются у оригинального сценария, в котором на основании драматургического базиса представлены все длины волн. Его эффективность на 38% выше, чем у монохроматического сценария на длине волны 445 нм.

Соотношение энергии за всю продолжительность оригинального сценария составляют на длинах волн 445 нм: 520 нм: 637 нм = 44%: 9%: 47%. При этом взаимосвязь между пропорциями излучения на разных длинах волн и суммарным эффектом, выраженном в показателях, в данном эксперименте достоверно установить невозможно: так для показателя работоспособности суммарный эффект получается путём прямого сложения значений для каждой длины волны, а для показателя точности значение остаётся неизменным. Данные взаимосвязи требуют сопоставления различных сложных сценариев.

Заключение

Проведённые исследования показывают эффективность использования аудио-визуальных средств для повышения работоспособности при выполнении монотонных работ, требующих высокой концентрации (сеанс продолжительностью менее 5 минут повышает производительность более чем на 10%), при этом повышается как точность, так и скорость выполнения работ.

Контент, построенный на драматургическом базисе, позволяет достичь большего эффекта повышения показателей. Так, оригинальный фрагмент спектакля «*lux aeterna theatre*», световая партитура которого имеет сложный характер изменения длины волны, приводит к увеличению показателя продуктивности в 1,3–2,2 раза большему, нежели монохромные сценарии при той же продолжительности воздействия.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление характера связи между пропорциями излучения на разных длинах волн, последовательностью и динамикой их развития в ходе сценария, а также

установлению оптимальной длительности сеанса и определению продолжительности положительного воздействия после просмотра.

ССЫЛКИ

1. *Envicke B.* Investing in a health workforce: the impact of physical wellness on psychological well-being and the critical implications for worker performance. *Academy of health care management journal* 2012; 8 (1/2):21–32.

2. *Sitzer D., Stockwell A.* The art of wellness: A 14-week art therapy program for at-risk youth. *The Arts in Psychotherapy* 45 (2015) 69–81.

3. *Davies C., Knuiman M., Wright P., Rosenberg M.* The art of being healthy: a qualitative study to develop a thematic framework for understanding the relationship between health and the arts. *BMJ OPEN* February 24 2016

4. *Матвеев Н.В., Прокопенко В.Т., Сапунова Н.П., Фридман Д.А.* Исследование влияния светомузыкальных спектаклей на психофизиологическое состояние человека «Светотехника», 2016, № 1, С. 5–7

5. *Peter R. Boyce* Human factors in lighting, 3rd edition, Boca Raon, CRC Press, 2014, 703 pp. 126–128 pp.

6. *N. Kwallak, H. Woodson, C.M. Lewis, C. Sales* Impact of Three Interior Color Schemes on Worker Mood and Performance Relative to Individual Environmental Sensitivity, *Color Research & Application* April 1997,

7. *Pieter M.A. Desmet* Design for Mood: Twenty Activity-Based Opportunities to Design for Mood Regulation *International Journal of Design* Vol. 9 No. 2 2015



Матвеев Николай Владимирович – доцент Университета ИТМО, кандидат технических наук. Окончил Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, по специальности «Техническая физика». Доцент Высшей школы светового дизайна Университета ИТМО. e-mail: matveev_nv@mail.ru.

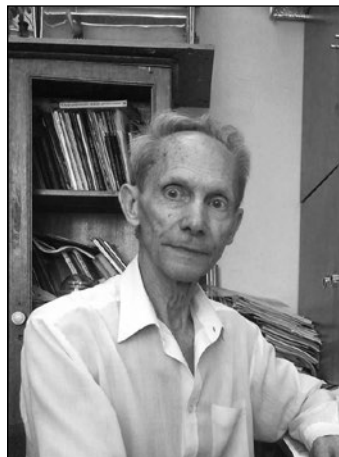
тел. моб.: +7921–797–81–36



Пашкевич Мария Леонидовна – магистрантка Университета ИТМО (факультет лазерной и световой инженерии [ЛиСИ]), Высшая школа светового дизайна [СД]). Окончила бакалавриат

Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, по специальности «Лазерная биомедицинские технологии». e-mail: pashkevich_mariya@mail.ru. тел. моб.: +7921–875–10–72

ПАМЯТИ ЕВГЕНИЯ ИВАНОВИЧА МУДРАКА (1936 – 2017)



15 июля 2017 года ушёл из жизни Евгений Иванович Мудрак, проработавший во ВНИСИ им. С.И. Вавилова более 40 лет.

Евгений Иванович закончил Московский энергетический институт в 1961 году по специальности «Светотехника и источники света», в 1969 году ему была присвоена учёная степень кандидата технических наук. В 1972 году Е.И. Мудрак пришёл во ВНИСИ и связал с институтом и светотехникой всю оставшуюся жизнь.

Евгений Иванович был высококвалифицированным специалистом в области создания светотехнических изделий и установок для сельского хозяйства, с 1980 по 1985 гг. руководил лабораторией. При его непосредственном участии были проведены исследования и созданы новые облучательные установки для эффективного использования оптического излучения при выращивании растений. Установки типа «Светотрон» и облучатели «ФОТОС» экспонировались на отечественных и зарубежных выстав-

ках. Е.И. Мудрак регулярно печатался в научно-технических журналах, выступал с докладами на конференциях, имел награды, в том числе – 4 медали ВДНХ. В последние годы Е.И. Мудрак активно занимался вопросами создания светильников со светодиодами.

Сослуживцы и коллеги Евгения Ивановича запомнили его как ответственного, невероятно эрудированного и энергичного исследователя, как светотехника, посвящавшего всё своё время работе в институте. Его стремление к познанию всего нового в науке, кажется, не имело границ. Е.И. Мудрак постоянно интересовался новейшими открытиями в области светотехники, переводил статьи иностранных изданий для коллег по институту.

Редакция журнала «Светотехника», коллеги, ученики и сослуживцы Е.И. Мудрака выражают свои соболезнования семье и близким Евгения Ивановича. Мы запомним его как светлого и отзывчивого человека с большим сердцем.

Область применения:

- небольшие населённые пункты
- придомовые территории, детские и спортивные площадки
- школы, детские сады, медицинские учреждения
- складские помещения, цеха, торговые площади
- пешеходные переходы, АЗС, парковки
- теплицы, бассейны, фонтаны, аквариумы
- внутреннее освещение



Контроллер БРИЗ-РВ

ОБЕСПЕЧИВАЕТ АВТОНОМНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ



По первой редакции стандарта АПСС СТО. 69159079-01-2017 «Светильники светодиодные. Требования к техническим и эксплуатационным параметрам»

От редакции

В журнале «Светотехника» № 2 за этот год (стр. 4) были опубликованы «Общие краткие сведения об этом первом стандарте Ассоциации Производителей Светодиодов и Систем на их основе (АПСС)», на которые поступили отзывы наших читателей. Редакция благодарна руководству АПСС, предоставившему проект СТО для широкого обсуждения светотехнической общественностью, и всем читателям, приславшим свои рецензии СТО нам. Несмотря на то, что стандарт организации является внутренним делом самой организации, широкая дискуссия на эту тему послужит развитию нашей отрасли в целом.

Непонятно, с какой целью разрабатывается данный стандарт организации (СТО), в то время как сегодня действуют национальные стандарты ГОСТ Р 55705—2013 «Приборы осветительные со светодиодными источниками света» и ГОСТ Р 54350—2015 «Приборы осветительные и методы испытаний».

Представленный материал крайне сырой, и притом некоторые требования к параметрам ОП ниже, чем в национальных ГОСТах.

Вот лишь несколько примеров недоработки СТО:

1. Название СТО не соответствует содержанию, т.к. в нём говорится об ОП в целом, а не только о светильниках.

2. П. 5.1.4. В общих требованиях указаны ГОСТы с техническими требованиями, которым должен соответствовать ОП со светодиодами, после чего в содержательной части по многим параметрам идёт излишняя повторная ссылка на эти ГОСТы.

3. П. 5.5.1. Если ОП по климатическому исполнению должен соответствовать ГОСТ 151150, то диапазон рабочих температур должен определяться исполнением ОП (У, ХР, УХД и т.д.) и категорией размещения (1, 2, 3, 4 и т.д.), а не устанавливаться производителем ОП, как это нередко происходит сегодня.

4. П. 5.8.1. Крайне занижен срок службы ОП: не менее 3-х лет, при ресурсе светодиодов не менее 50000 ч.

5. В СТО отсутствуют требования к допустимому спаду светового потока в установившемся режиме;

С учётом сказанного считаем разработку и ввод в действие такого СТО нецелесообразными.

*В.М. Пятигорский, кандидат техн. наук,
ООО «ВНИСИ», Москва*

*А.А. Коробко, кандидат техн. наук,
ООО «УК «БЛ ГРУПП», Москва*

Стандарт СТО.69159079-01-2017 является внутренним документом некоммерческой организации «Ассоциация Производителей Светодиодов и Систем на их основе» (АПСС), то он не имеет юридической силы для осуществления экономической деятельности (включая хозяйственную и коммерческую) членами АПСС вне области деятельности АПСС и не должен ограничивать права других участников рынка.

Основные замечания по содержанию данного СТО таковы:

1. В п. 2 (на с. 4) дано ошибочное наименование стандарта ГОСТ Р МЭК 60598—2—2—2012.

2. В п. 5.1.4 указан ГОСТ IEC 60598—2—1, не приведённый в нормативных ссылках (в п. 2).

3. В п. 5.2.1.1 указано, что световой поток ОП должен определяться по ГОСТ Р 54350 с учётом требований ГОСТ Р 56231 (п. 8.1), но не указано, какие именно из этих требований необходимо учитывать. В п. 8.1 ГОСТ Р 56231 есть ссылка на п. 8.1 ГОСТ Р 56230, устанавливающий эксплуатационные требования, условия и методы испытаний светодиодных модулей. При этом метод измерения светового потока светодиодных модулей по ГОСТ Р 56231 (примечание 2 Приложения А) ещё находится на стадии рассмотрения.

На наш взгляд, ссылка в п. 5.2.1.1 на ГОСТ Р 56231 вносит неоднозначность в метод измерения светового потока ОП. Так, например, если необходимо установить условия этих измерений, отличные от условий п. 10.1.1 ГОСТ Р 54350—2015, их нужно непосредственно указать в СТО.

4. В п. 5.2.2 указан нестандартный термин «коэффициент пульсации светового потока», а по ГОСТ Р 56228 должно быть «коэффициент пульсации освещённости». Действующие технические нормативные правовые акты (СанПИН, ГОСТ) устанавливают требования именно к коэффициенту пульсации освещённости, т.е. к одной из характеристик световой среды, но не ОП. При этом в п. 5.2.2.2 дана ссылка на ГОСТ 33393, который устанавливает метод измерения... коэффициента пульсации освещённости.

Таким образом, очевидно заметное несоответствие СТО действующими техническим нормативным правовым актам, что делает невозможным проведение испытаний на соответствие требованиям п. 5.2.2 СТО.

Для устранения этого недостатка, на наш взгляд, необходимо дополнить СТО определением и методом измерения коэффициента пульсации светового потока ОП.

5. На наш взгляд, требование п. 5.2.3.3 противоречит требованиям таблицы 9 ГОСТ Р 54350—2015. Производитель должен указывать в ТУ и эксплуатационной документации значение коррелированной цветовой температуры в соответствии именно с этим ГОСТом (а допуск должен устанавливаться в соответствии с указанной таблицей 9).

6. Требования п. 5.3.4 и 5.3.5 излишни, т.к., по сути, повторяют требования п. 5.7.1 соответствовать требованиям ТР ТС 004/2011.

7. Требования пп. 5.4.2–5.4.5 дублируют требование п. 5.4.1, поскольку испытания на соответствие требованиям первых входят в комплекс испытаний на соответствие ТР ТС 020/2011.

8. В п. 5.6.6.1 указан ГОСТ 18620, отсутствующий в нормативных ссылках (п. 2).

9. На наш взгляд, указывать ТР ТС 020/2011 в п. 5.7.1 нет необходимости, т.к. аналогичные требования приведены в п. 5.4. И стоит заметить, что ТР ТС 020/2011 не регламентирует безопасность ОП.

10. По-видимому, требования пп. 5.7.2 и 5.7.3 излишни, т.к. согласно требованиям п. 5.7.1 ОП должен соответствовать требованиям ТР ТС 004/2011 и согласно п. 5.9.1 должны иметься протоколы испытаний ОП на соответствие требованиям ТР ТС 004/2011. В рамках испытаний на соответствие ТР ТС 004/2011 проводятся испытания по ГОСТ IEC 60598–1 и по ГОСТ IEC62471–2013.

*В.И. Цвирко, инженер, и Ю.В. Трофимов,
кандидат техн. наук,
Государственное предприятие
«ЦСОН НАН Беларуси», Минск*

Можно сделать следующие замечания и предложения по ряду пунктов данной редакции СТО. 69159079–01–2017:

П. 5.2.1.2. Неясен смысл этого пункта, изготовитель должен указывать минимальное значение светового потока, иное противоречит ГОСТ Р 54350–2015. (Данный пункт создаёт лазейку для недобросовестных изготовителей.)

П. 5.2.11.3. Данное положение противоречит ГОСТ Р 54350–2015. Смысл его непонятен, и оно может давать лазейку для недобросовестных изготовителей.

П. 5.3.2.2. Номинальная потребляемая мощность указывается с примечанием «не более», поэтому непонятно, зачем ещё 10% допустимого увеличения нормируемой величины. Это тоже создаёт лазейку для недобросовестных изготовителей.

П. 5.3.3.2. Нормированный коэффициент мощности должен быть указан с примечанием «не менее».

П. 5.3.6.1. Требования указывать амплитуду и длительность импульса пускового тока, возможно, необходимы, начиная с какой-то достаточно большой мощности ОП (с какой именно – вопрос дискуссионный). Для маломощных и среднечастотных ОП эти требования бессмысленны, т.к. для их выполнения все производители источников питания должны приводить соответствующие характеристики своих изделий, что пока случается достаточно редко.

П. 5.4. Неоправданно велик объём требований к электромагнитной совместимости ОП. Следует понимать, что все указанные испытания придётся проводить не только на приёмочных испытаниях, но и на периодических (раз в год), что дороговато обойдётся

производителям, хотя для обычных ОП в этом нет необходимости.

(Это оправданно для ОП, работающих в сложной электромагнитной обстановке, как, например, на железной дороге, электростанциях и т.д.)

В принципе, здесь встаёт общий вопрос целесообразного перечня приёмо-сдаточных и периодических испытаний с указанием их периодичности.

П. 5.8.1.1. Срок службы ОП не менее 3 лет – это какая-то опечатка, 3 года может быть гарантийным сроком, но не сроком службы.

П. 5.8.2.1. Здесь опечатка: должно быть не «или не менее 36 месяцев», а «и не менее 36 месяцев».

А. Лазаревич, холдинг «Швабе», Москва

Основные замечания и предложения по пунктам обсуждаемого СТО:

П. 5.1.1. Если нет ТУ на ОП, он ввезён из-за границы и получен сертификат, распространяется ли требование на него в соответствии с данным СТО?

П. 5.1.4. Возможно, следует указать конкретные пункты в перечисленных ГОСТах, которым должны соответствовать ОП, т.к. эти ГОСТы содержат, например, требования и к разным характеристикам, и к методам, и к инструментарию для проверки технических параметров.

П. 5.2.1. Обозначение светового потока. Предложение «F», а ранее всегда было «Fv» (в других ГОСТах). Почему?

П. 5.2.1.2. Допустимое отклонение светового потока. Следует указать, при каких условиях (температура, параметры питания, расположение, после выхода на стабильный режим и др.) оно оценивается.

П. 5.2.2. Коэффициент пульсации светового потока ОП. Нужно бы прописать, при каких условиях он измеряется, при каких параметрах питания, проводятся ли измерения на одном ОП или на группе уже установленных (смонтированных).

(Может быть так, что отдельный ОП может давать пульсацию, а при включении в трёхфазную сеть нескольких ОП пульсации могут исчезнуть.)

П. 5.2.2.1. Для наружного освещения коэффициент пульсации не нормируется. Это не очень хорошо, так как в местах большого скопления людей могут быть индивиды с заболеванием ЦНС (пульсации у которых могут вызывать приступы). Пульсации могут мешать работе приборов видеонаблюдения и других оптических приборов, провоцировать ДТП на дорогах и др.

П. 5.2.3. КЦТ. Измерение этой температуры по ГОСТ Р 54350–2015 должно проводиться только по оптической оси ОП после стабилизации светового потока. Получается, что исключён метод измерения КЦТ в фотометрическом шаре. Плюс не учитывается случай, когда распределение спектра в угловом пространстве неравномерно и, соответственно, могут образовываться разноцветные кольца при проецировании света на рабочую плоскость.

П. 5.2.4. Индекс цветопередачи R_a . Возможно, использование R_a уже устарело, и нужно переходить на новые стандарты: CQS и (или) TM-30-15, например.

Необходимо определить требования к пространственно-угловому разбросу значений R_a .

П. 5.2.5.4. Следует прописать формат фотометрических файлов и уточнить, по каким данным можно их строить (по расчётным или измеренным), а также что делать, если у производителя нет сайта.

П. 5.2.11. Световая отдача. Если ОП не подходит ни к одному виду, указанному в таблице 1 (как например, уличный с зеркальными отражателями), то какие требования по световой отдаче применимы к нему?

А к какому типу отнести светильник заднего освещения (*backlighting*)? А если светильник имеет светофильтр, или светит не белым цветом, а монохромным (зелёным, красным) или полихромным?

Разве все такие светильники (ОП) — «специальные»?

П. 5.6.6. Требования к маркировке. Возможно, следует указать место (места) маркировки ОП (корпус, провода, в зоне видимости или др.).

П. 5.7. Требования безопасности. Необходимо дополнительно указывать, используются ли вредные материалы и комплектующие и как данный ОП (в частности, светильник) надо утилизировать.

Необходимо также требовать использовать коммутационные коробки и соединители со степенью защиты оболочки, не меньшей указанной на ОП.

П. 5.8.1. Следует указать, с какого момента исчисляется срок службы и как он устанавливается (определяется). Не ясно, как подтверждать качество изделий, особенно срок их службы и параметры деградации.

П. 5.9. Сертификация. Возможно, следует указывать и добровольные сертификаты.

Кроме того, необходимо определить формат доступа к описательной информации — ТУ, эксплуатационным документам, результатам проверок/протоколов измерений — всем заинтересованным лицам. Возможно, следует предоставить доступ к этой информации через сайт производителя или АПСС.

С. Щеглов, Университет ИТМО, Санкт-Петербург

Опрос специалистов о применении светодиодов

В последнее время у нас в стране прилагаются большие усилия по переводу осветительных установок (ОУ) на светильники со светодиодами (СД). При этом широко используется административный ресурс. Всё это происходит за счёт попыток резко сократить объём продаж традиционных источников света (прежде всего компактных и линейных люминесцентных ламп (ЛЛ)).

В связи с этим редакция журнала обратилась к ряду ведущих специалистов в области светотехники с просьбой сообщить имеющуюся у них информацию и их мнение по некоторым вопросам. Вопросы и ответы, которые прислали Ларс Билунд (*Lars Bylund*, инженер, профессор Бергенской архитектурной школы (холистические здания, свет и энергетика), Берген, Норвегия)¹, Александр Сергеевич Букатов (инженер-электрик, зам. директора по эксплуатации и техническому развитию АХП и иллюминации ГУП «Моссвет», Москва, Россия), Леонид Петрович Варфоломеев (к.т.н., на протяжении многих лет руководил лабораторией ВНИСИ, Москва, Россия), Николай Василев¹ (*Nikolay Vassilev*, д.т.н., профессор, ведущий преподаватель Софийского технического университета, София, Болгария), Дженифер А. Вейтч¹ (*Jennifer A. Veitch, Ph.D.*, старший научный сотрудник Научно-исследовательского строительного института Канадского национального исследовательского совета (*NRC-IRC*), Монреаль, Канада), Уоррен Г. Джулиан (*Warren G. Julian*, заслуженный профессор в отставке, Австралия), Леонид Григорьевич Новаковский (к.т.н., директор ООО «ФАРОС-АЛЕФ», Москва, Россия), приведены ниже.

1. Известны ли Вам серьёзные научные исследования, посвящённые целесообразной (или возможной) области применения светодиодов и тем ограничениям или дополнительным требованиям, которые при этом выдвигаются (синяя опасность, влияние на размеры зрачков глаз людей, ограничение яркости, требования к коррелированной цветовой температуре и др.).

Л. Билунд: Что касается «опасности синего света», то в этой области были проведены многочисленные исследования. К сожалению, многие из них имеют статус официальных, и, я бы сказал, это особенно касается тех из них, которые посвящены недостаткам СД и намекают на связанную с СД опасность синего света. Если я не ошибаюсь, то в полосе шириной 5 нм энергия излучения СД во много раз меньше, чем у излучения неба. Если установка с СД создаёт освещённость 1000 лк при коррелированной цветовой температуре 6000 К, то количество попадающего на сетчатку отражённого синего света невелико по сравнению со светом неба. Лишь немногие кристаллы излучают в этой области спектра больше чем 800 мВт на 5 нм. Яркость кристаллов СД действительно выше яркости металлогалогенных ламп, но кто же смотрит прямо на такую лампу или на кристалл СД? После достижения 50-летнего возраста роговая оболочка глаза становится гораздо менее прозрачной для коротких длин волн, особенно в области опасного синего света. Ещё одним отрицательным следствием высокой яркости СД является то, что она приводит к уменьшению размера зрачка (соответствующие исследования были проведены в Университете Аалто, Финляндия, Сэмом Берманом

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

(Sam Berman) и др.). Это приводит к уменьшению количества попадающего на сетчатку света. Ещё одним обстоятельством является чрезвычайно короткое время, в течение которого имеющие очень малую площадь СД проецируются на один и тот же рецептор. К сожалению, очень многие производители осветительных приборов (ОП) действительно изготавливают слишком блестящие светильники с СД. Но высокой блёскости можно избежать, выбирая хорошие светильники. Что касается коррелированной цветовой температуры, то и здесь при проектировании можно сделать хороший или плохой выбор. Причинами плохого выбора могут быть или плохое знание светотехники, или стремление использовать дешёвые изделия.

А.С. Букатов: Что касается применения СД во внутреннем освещении и каких-либо серьёзных научных исследований в области их применения, то такая информация у меня имеется только благодаря публикациям в журнале «Светотехника», за что большое спасибо.

Л.П. Варфоломеев: Мне не известны серьёзные научные исследования ОУ и условий освещения с применением СД. Несколько лет назад в журнале «Светотехника» была статья Л.М. Текшевой на эту тему² с довольно категоричными выводами о преимуществах СД освещения над люминесцентным по всем параметрам. По результатам исследований рекомендовалось разрешить применение СД для освещения школьных классов. Мне статья показалась несколько предвзятой и малоубедительной, так как объём проведённых исследований был явно недостаточен для столь категоричных выводов.

Н. Василев: Затрудняюсь ответить.

Дж.А. Вейтч: Мне неизвестны причины, по которым нельзя было бы использовать белые или спектрально регулируемые СД, предназначенные для общего освещения. Требования к проектированию освещения остаются неизменными. Единственным отличием является, на мой взгляд, наличие в некоторых ОУ временной модуляции света (называемой также пульсациями). Этого следует избегать. В настоящее время имеется только один стандарт (*IEEE S1789–2015*), в котором этот вопрос рассматривается в целях уменьшения опасности для здоровья³.

У.Г. Джулиан: 5–7 лет назад такие работы были проведены Министерством здравоохранения Франции. Недавно Американская медицинская ассоциация (*American Medical Association*) сделала несколько заявлений, которые подверглись критике.

Л.Г. Новаковский: Направляю перечень известных мне работ посвящённых синей опасности, влиянию на размеры зрачка, ограничению яркости, требовани-

ям к коррелированной цветовой температуре и др. (71 наименование⁴).

2. Известны ли Вам случаи демонтажа осветительных установок со светодиодами в связи с плохим качеством освещения или другими особенностями (например, высокими пусковыми токами в электрической схеме питания светодиодов или ненормальной работе устройств управления).

Л. Билунд: К сожалению, я не знаю о демонтаже установок с СД по причине плохого качества, но это наверняка имело место, особенно на заре эры СД. Я знаю об ОУ, в которых проектировщики не приняли во внимание высокие пусковые токи и, как следствие, потребовалась корректировка этих ОУ. Однако, по-моему, в настоящее время эта проблема уже решена. Следует повысить образованность электриков в части установки изделий с СД.

А.С. Букатов: Интенсивное применение СД в качестве источников света в установках наружного освещения (архитектурного, функционального) Москвы началось с 2011 г. В большей степени ОП с СД стали применяться в установках архитектурного освещения зданий, где использование СД позволяет создавать разнообразные цветоцветовые сценарии. Только за период 2011–2016 гг. установки архитектурного освещения были смонтированы на более чем 1000 московских зданий и сооружений, на которых установлены около 140000 ОП с СД. Всего в постоянной эксплуатации специализированной организации находится около 1600 установок архитектурного освещения с 230000 ОП. Подобными темпами архитектурное освещение в Москве ещё не развивалось (в Европе тем более). Прогресс использования СД очевиден, но в процессе эксплуатации, с момента появления первых подобных ОУ сразу стали возникать проблемы с надёжностью их функционирования, обусловленными следующими причинами:

– законодательная база, на основе которой определяются поставщики светотехнической продукции (подрядчики на выполнение проектных и строительно-монтажных работ), несовершенна;

– в системе аукционов практически отсутствуют критерии качества и опыта работ, что приводит к внедрению светотехнической продукции, не отвечающей в полной мере требованиям, предъявляемым к установкам наружного освещения;

– гарантийные обязательства подрядчиков, как правило, ограничиваются двумя годами, а именно после двух лет функционирования ОУ и наблюдаются отказы в работе светильников с СД (это относится к светильникам низкого качества);

– заявленные производителями работ параметры ОП не отражают полной информации о конструктивных и электротехнических характеристиках, а предоставленная информация часто не соответствует действительности. По этой причине и появляются установ-

⁴ Депонировано в редакции.

² Текшева Л.М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах // Светотехника. – 2012. – № 5. – С. 16–22.

³ Требования к коэффициенту пульсации содержатся, например, в ГОСТ Р 55710–2013, СП52.13330.2011, EN12464–1:2011. – Прим. пер.

ки, в которых происходит мигание светильников или их полное отключение;

– выходят из строя отдельно стоящие устройства управления (несоответствие климатическим исполнениям), срок службы устройств управления часто ниже срока службы самих ОП, в ОП возникает замыкание плат из-за проникновения влаги, срок службы ОП, как правило, указывается без учёта спада светового потока во время эксплуатации и т.д.;

– совершенно не принимается во внимание то обстоятельство, что в архитектурном освещении большая часть ОП устанавливается световым отверстием вверх, параллельно уровню земли, что приводит к образованию «снежной шапки» на защитном стекле. При этом снег источником света не растапливается (незначительные тепловыделения, в отличие от ДНаТ и МГЛ);

– законодательная и нормативная база не позволяет вводить ограничения на типы и марки используемых ОП, что приводит (и уже привело) к большому ассортименту как качественных, так и некачественных ОП, находящихся в эксплуатации. ОП, как правило, неразборные, поэтому у эксплуатирующей организации возникает большая проблема с ЗИП и восстановлением вышедших из строя ОП;

– в последнее время наблюдается снижение качества выполнения монтажных работ и уровня подготовки электромонтажников. ОП с СД, которые имеют возможность изменения цвета излучения в динамическом режиме работы, требуют определённой системы управления. На отдельных объектах наблюдались случаи, когда ОП работали в 50%-м режиме, и как выяснилось, только из-за того, что сигнал управления не доходил до ОП. На начальном этапе использования СД электромонтажники перед установкой ОП пытались вскрывать корпус, что приводило к нарушению и так не очень надёжной герметизации. Из-за некачественных маркировок на отдельных ОП возникали проблемы с подключением кабелей управления и силовых кабелей (перепутывались входы), что приводило к выходу из строя плат.

Поэтому в результате ежедневных визуальных осмотров специалистами технического надзора регулярно выявляются ОУ с СД, в которых ОП работают не в штатном режиме. Ориентировочно за год эксплуатации из всех осмотренных установок архитектурного освещения с СД выявляется около 10–15%, где имеются нарушения в работе.

Проблемы больших кратностей пусковых токов СД существуют из-за недостаточности предоставления информации от производителей и низкого уровня квалификации проектировщиков. На текущий момент эта проблема успешно решается с помощью применения ограничителей пусковых токов⁵.

⁵ См., например, *Сибриков А.В., Киричок А.И.* Применение светодиодов для освещения г. Москвы. Проблемы эксплуатации // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 28–31. – Прим. ред.

Л.П. Варфоломеев: О демонтажах ОУ с СД мне неоднократно рассказывали слушатели курсов, проводимых «Домом света» в прошлые годы. В частности, называлась крупная ОУ на одном из заводов в Екатеринбурге. К сожалению, я не записал и не запомнил фамилии слушателей, рассказывавших мне такие истории.

Н. Василев: Затрудняюсь ответить.

Дж.А. Вейтч: Мне такие случаи неизвестны.

У.Г. Джулиан: Только в части электромагнитной совместимости в случае СД ламп прямой замены типа *MR16 LED*, которые создавали помехи для радио- и телепередач. Проблемы может вызывать и отвод тепла.

Л.Г. Новаковский: С демонтажем ОУ, связанным их с плохим качеством, я столкнулся единственный раз в депо «Печатники» московского метрополитена, где в качестве эксперимента в вагонах вместо ЛЛ *T8* устанавливались линейные СД лампы разных изготовителей. В процессе эксплуатации на некоторые из них поступали жалобы пассажиров (слепящий эффект, высокая цветовая температура). В результате после незначительного срока эксплуатации (30000 км пробега – 3 месяца) лампы были демонтированы. Был случай и с лампами, которые выпускает наша компания. Это тоже линейные СД лампы длиной 1200 мм, которые устанавливались в вагоны метро взамен ЛЛ. Они прослужили более 4-х лет без отказов и снижения светового потока, а это почти 500000 км пробега. Однако на 5-м году эксплуатации у них проявился интересный эффект – СД, установленные по краям трубок рядом со встроенными источниками питания, посинели. Лампы отслужили свой ресурс и по моей просьбе были демонтированы, хотя служба подвижного состава была готова продолжить их эксплуатацию, что тоже для нас характерно. Анализ показал, что из-за плохого теплоотвода у пластмассового цоколя на краях трубки нарушался режим работы люминофора примыкающих к этой зоне светодиодов. Установка радиатора исключила проявление подобного эффекта.

3. Каковы (ориентировочно) сроки окупаемости таких реконструируемых на светодиоды осветительных установок в различных типах зданий, сооружений или наружных установках.

Л. Билунд: Соответствующие расчёты должны учитывать многочисленные факторы, однако мой опыт показывает, что при равенстве стоимости светильников и установки в целом хороший и неблёский светильник с ЛЛ обходится дороже светильника с СД. Многие не создающие блёскости установки с СД имеют установленную мощность, равную примерно 1–1,2 Вт/(м²·100 лк), тогда как у хороших установок с ЛЛ этот показатель равен по меньшей мере 1,5 Вт/(м²·100 лк).

А.С. Букатов: Приемлемые сроки окупаемости работ по реконструкции установок наружного освещения (архитектурного и функционального) путём замены ламп типа ДНаТ и ДРИ на СД, которые определяются частотой выездов бригад службы эксплуатации, стоимостью замены светильников с СД или светоди-

одных плат, а также экономией электроэнергии, можно обсуждать только при реальном достижении заявленных часов работы ОП с СД и их качества. На текущий момент ситуация оставляет желать лучшего. Но если рассматривать вопрос улучшения качества световой среды города в целом (повышение индекса цветопередачи, возможность изменения цвета излучения и т.д.), то СД необходимо применять, только заниматься этими вопросами должны специалисты, а не «ремесленники».

Л.П. Варфоломеев: Реальные сроки окупаемости ОУ с СД — не меньше двух лет, хотя в рекламных материалах иногда встречаются сроки в несколько месяцев. Для установок наружного освещения можно считать приемлемым срок окупаемости 5–6 лет (при замене светильников с ДРЛ). При замене светильников с НЛВД срок окупаемости может, по-видимому, стремиться к бесконечности.

Н. Василев: Важнейшим требованием к ОУ является её энергоэффективность, однако для нас не менее важна и экономическая эффективность! При сравнении различных вариантов ОУ мы выбираем наиболее экономичное решение. Пока что светильники с СД имеют относительно высокую стоимость!?

Для разных ОУ (внутреннее освещение, наружное освещение, освещение тоннелей) мы используем разные сроки окупаемости, обычно от 4-х до 6-ти лет. Для сравнения вариантов мы используем затраты за срок службы. У нас имеются проблемы с коррелированной цветовой температурой СД.

Дж.А. Вейтч: У меня нет данных по этому вопросу, однако я считаю, что они существенно зависят от местоположения (разная стоимость электроэнергии) и закупок (цена зависит от объёма и других факторов). Кроме того, в Канаде у некоторых органов власти имеются программы, реализуемые через их энергетические подразделения и призванные ускорить внедрение СД. Они действительно уменьшают сроки окупаемости.

У.Г. Джулиан: Не знаю, но реальным представляется равный примерно 20000 ч срок службы светильников СД, который зависит от электролитических конденсаторов устройств управления. Обычно замена невозможна, так что светильник приходится выбрасывать.

Л.Г. Новаковский: Ориентировочные сроки окупаемости реконструируемых на СД ОП по моим представлениям составляют 1,5–2 года.

4. Используются ли светодиоды в детских учреждениях (детских садах, начальных школах), больницах, санаториях.

Л. Билунд: Да, имеются примеры использования СД в упомянутых учреждениях скандинавских стран, в том числе и в Финляндии. Установки с СД имеются в больнице стокгольмского университета (*New Karolinska Hospital*). Временная администрация больниц Стокгольма недавно объявила о том, что всё освещение ЛЛ

должно быть заменено на освещение СД. Причинами такого решения стали не только энергоэффективность, но и ртутные отходы и загрязнение. В Словении в настоящее время имеется ряд общежитий для студентов старших курсов, в которых используются только СД. Кухни, туалеты и жилые комнаты освещаются СД с коррелированной цветовой температурой, превышающей 5000 К.

А.С. Букатов: —

Л.П. Варфоломеев: Случаи использования СД в детских учреждениях мне неизвестны.

Н. Василев: Затрудняюсь ответить.

Дж.А. Вейтч: Да, хотя внедрение происходит медленно из-за высоких цен в данной местности. Если изменения должны быть произведены в любом случае, то часто выбирают СД.

У.Г. Джулиан: Возможно, но советую не использовать их в яслях и т.д., где дети могут фиксировать свой взгляд на ближайших открытых СД.

Л.Г. Новаковский: Согласно действующим СНиП и СанПиН, использование ОП с СД либо запрещено (детские сады, начальные школы), либо ограничено, т.е. имеются требования к их установке, исключающие попадание прямого излучения от светодиодного источника в глаза. Такое требование сформулировано даже в санитарных нормах и правилах эксплуатации метрополитена. Что касается моих соображений по этой теме, то здесь следует сказать, что проблема явно гипертрофирована. Во-первых, мера физиологического воздействия ЛЛ на зрительный аппарат в силу пульсации светового потока, пожалуй, больше, чем влияние синего света СД, а с учётом нашего отношения к утилизации и ограниченного срока службы счёт явно не в пользу использования ЛЛ. Во-вторых, этот дефект белых СД явно устраним либо за счёт упомянутых в начале организационных мероприятий, либо конструктивно, установкой соответствующего светофильтра непосредственно в СД, как это в ряде случаев делает компания *Cree*, США, или использованием отдалённого люминофора, как это сегодня делает ряд компаний, например, *Lucendi*, Италия, и *Philips*, Нидерланды, либо подбором цветовых характеристик, формирующих суммарный световой поток ОП, как это сделали мы в разработке осветителя для «Джоконды» (см. Светотехника. — 2005. — № 5. — С. 28–33). И наконец, последнее — совершенно очевидно, что для каждого типа источника света есть своя эксплуатационная ниша, поэтому непонятно, почему непременно надо всё и везде поменять на СД. Мне кажется, что массовая истерия в отношении использования СД — это в чистом виде управленческий анахронизм, спровоцированный кажущейся простотой процесса. При этом полагаю, что неразрешимых проблем не бывает. Просто мы ещё не очень готовы и культурно и идеологически к массовому внедрению светодиодной техники. А высвечивание этой проблемы, безусловно, полезно, хотя бы как подготовка к её решению



Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика»

Три инновации конца 20 – начала 21 веков радикально изменило лицо этой, уже казавшейся архаической инженерной специальности: создание источников света на базе светоизлучающих диодов (СИД), программы моделирования осветительных установок (ОУ) на компьютере с учётом всех факторов распространения света в сцене освещения и системы автоматизированного управления освещением с использованием интернет-технологий. Это потребовало существенной модернизации учебных программ подготовки специалистов по светотехнике. На кафедре светотехники «НИУ «МЭИ» с 2000 года проводятся занятия по курсу «Компьютерная графика», где студенты на лекциях (16 лекций) получают глубокую подготовку по теории глобального освещения, дающая методы и алгоритмы описания распространения (перенос) света с учётом всех актов переотражений в сцене освещения, на лабораторных работах (14 работ) осваивают методику моделирования ОУ с помощью современного программного обеспечения. Важнейшим элементом обучения является выполнение курсового проекта по практическому моделированию реальной ОУ на компьютере.

Для дифференциации и стимулирования студентов в рамках преподавания дисциплины действует рейтинговая система: каждое задание (практическое, лабораторное, расчётное и курсовая работа) имеет базовый вариант (0 очков) и варианты повышенной сложности нескольких уровней по 10, 20 и 40 очков. После каждого практического занятия студенты получают задание из некоторого количества задач, каждая из которых так же оценивается некоторым количеством очков (5, 10,

20). Полученные после выполнения каждого задания очки суммируются, образуя рейтинг студента по данной дисциплине. Каждое обязательное задание: защита лабораторной работы, выполнение и защита расчётных заданий, зачёт имеют свою цену в очках, образуя в начале семестра отрицательный баланс очков. Зачёт естественно получает студент, имеющий неотрицательный баланс по всем обязательным видам занятий. Оценка за зачёт определяется количеством набранных очков после расчёта по всем заданиям. Студент, у которого после получения зачёта остались очки, в зависимости от суммы которых он может быть освобождён от одного, двух вопросов билета или может быть засчитан экзамен с оценкой отлично. Соответственно существует некоторая сумма очков, после набора которой студент досрочно сдаёт экзамен.

Представляется, что указанная система индивидуальной работы со студентами не только стимулирует интерес к выполнению заданий, но и более равномерно распределяет нагрузку по семестру, позволяя избежать не нужной перегрузки в конце семестра.

Все темы проектов на одном курсе различны по параметрам и назначению ОУ. Первым этапом в моделировании ОУ является создание геометрии ОУ в рамках программ трёхмерной графики, причём наряду с реалистичностью модели важнейшим требованием является её пригодность к расчёту методом конечных элементов – радиосити. После этого сцена переносится в программу *Lightscape*, где устанавливаются материалы с их фотометрическими характеристиками, светильники с соответствующим светораспределением и видовые точки визуализации.

Программа *Lightscape* является сравнительно новой (2000 год), однако не существует аналогов программ, в которых можно изучить влияние параметров сцены освещения на точность решения методом радиосити. По результатам моделирования проводится анализ светораспределения в сцене, где *Lightscape* имеет также наилучший инструментарий, по результатам которого проводится модернизация ОУ.

Защита осуществляется публично на основе презентации в *Microsoft® PowerPoint*. Среди первых 10 лучших по предварительным итогам проектов проводится конкурс, в жюри которого наряду с преподавателями приглашаются проектировщики различных светотехнических компаний и дизайнеры из МАрХИ. Это обеспечивает всестороннюю и объективную оценку работ, что является важнейшей частью обучения моделированию ОУ на компьютере. По результатам конкурса студенты распределяются по местам, за каждое из которых получают определённое количество очков рейтинга. Обычно с учётом занятий в семестре обладатели первых 5 мест получают оценку отлично за экзамен по предмету досрочно.

В этом году в конкурсе 22 мая участвовали студенты 3 курса специальности. Первое место получила студентка Ковыркова Мария с проектом «Освещение будущего», второе место – Рыховских Андрей «*Citius, Altius, Fortius Alma Mater!*», третье – Иванова Кристина «Лесное озеро». Ниже предлагается краткое описание проектов, написанных их авторами.

**В.П. Будаков, доктор техн. наук,
профессор**

Освещение будущего

КОВЫРКОВА М.Д.

Идея моего курсового проекта возникла, когда я пришла работать преподавателем робототехники. Как будущий светотехник я не могла не обратить внимание на освещение компьютерного класса. Действующая осветительная установка состоит из 45-ти светильников, из которых семь не работают и один отличается по цветности. Это самые явные недостатки, которые первым делом «бросаются в глаза».

Геометрия смоделирована в *3DS Studio MAX*. В классе присутствуют три больших окна, что является большим плюсом, если их грамотно использовать. Так же есть второе помещение – это небольшая кладовая для хранения оборудования. Далее геометрия была перенесена в *Lightscape*, и создана модель действующей осветительной установки.

Проанализировав естественное освещение, мы видим на рисунке 1, что летом создаются блики на экранах ноутбуков. Освещённость в несколько раз превышает допустимые нормы (рис. 2). Из этого был сделан вывод, что необходимо ограничивать поток естественного света с помощью штор или жалюзи. Зимой естественного света оказалось недостаточно, соответственно появляется необходимость использовать искусственное освещение. Тогда появляются световые пятна, которые будут мешать восприятию информации с доски, а также наносить вред зрению.

Исходя из недостатков старого освещения были сформулированы требования к новой осветительной установке:

- выполнение норм: 400 лк на рабочих поверхностях, 150 лк в коридоре и в кладовой;
- качество, а именно отсутствие ослеплённости от светильников и исключение резких перепадов освещённости (более, чем в 4 раза) на объектах, которые находятся в поле зрения человека;
- современные источники излучения, а именно светодиоды, которые являются наиболее эффективными по сравнению с лампами накаливания.

Первый вариант разработанного освещения называется «Минимализм». В нём нет ничего лишнего. Присутствует только то, что позволяет обеспечить качественное освещение учеб-

ного класса. На рисунке 3 видно, что поступление естественного света ограничивают жалюзи. Заявленные нормы освещённости выполняются, распределение освещения по рабочим поверхностям достаточно равномерное, резких перепадов освещённости на столах, мониторах, стене и доске не наблюдается (рис. 4). Данная установка предусматривает различные варианты регулировки освещения. Есть возможность как обеспечить «тёмный коридор» перед доской, так и сделать акцент на выступающего у доски.

Реализовать данную модель удалось с помощью светильников компании *Philips*. Светильник *CoreLine Recessed* создаёт общее освещение в классе. Он достаточно мощный, чтобы обеспечить необходимые нор-

мы и равномерное освещение, а покрытие из поликарбоната предотвращает ослеплённость. Для акцентного освещения и освещения в коридоре использовался светильник *CoreLine Recessed Spot*. Светильник *Celino LED BCS680 C* средней мощности позволяет осветить небольшое помещение кладовой.

Вторая концепция освещения компьютерного класса называется «Максимальный комфорт». Данная осветительная установка предусматривает регулировку параметров светильников, что позволяет создать максимально комфортные условия для работы и обучения (рис. 5). За основу была взята система освещения, разработанная компанией *Philips* для образовательных учреждений *SchoolVision*. Предусмотрены четыре варианта освещения в зависимости от времени дня и рода деятельности учеников:

Рис. 1



Рис. 2

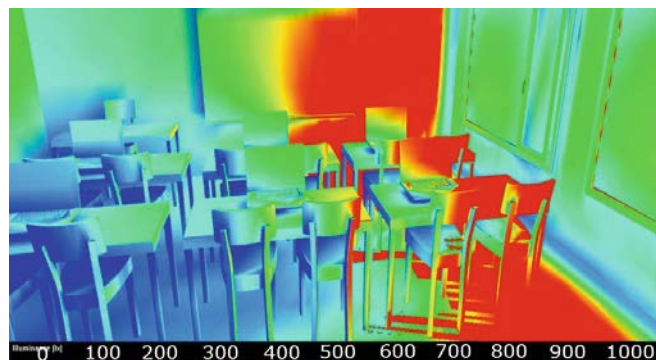


Рис. 3

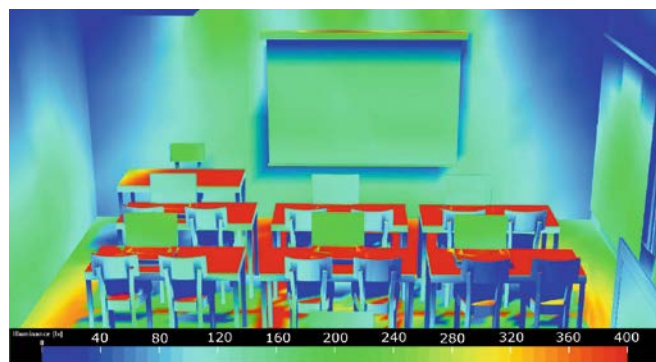
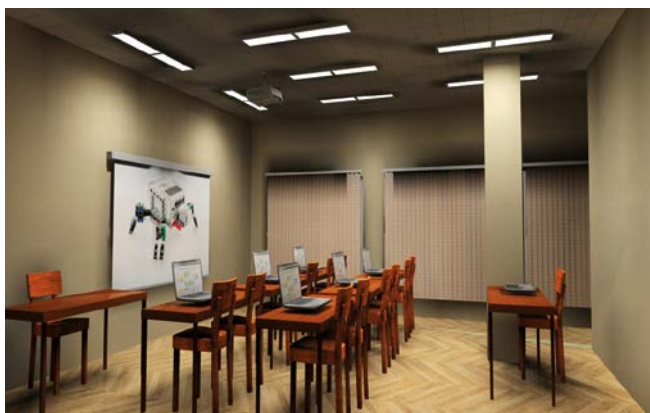


Рис. 4



- нормальный – стандартная яркость, стандартный оттенок света, которые подходят для обычного урока;
- внимание – максимальная интенсивность, холодный оттенок света, которые используются на контрольных работах для повышения концентрации;
- энергия – высокая интенсивность и очень холодный оттенок света, способные взбодрить детей в начале дня или после обеда;
- спокойствие – стандартный уровень интенсивности и тёплый оттенок света, способствующие снижению ги-

перактивного поведения во время занятий.

Проводились исследования данной системы, и они показали, что у детей возрастает скорость чтения, уменьшается количество ошибок, снижается гиперактивное поведение.

Для создания модели подобной системы использованы светильники *SmartForm LED*, для которых есть возможность добавить систему управления освещением. А для большей экономии энергии рекомендуется установить датчики, которые сочетают в себе несколько функций:

измерение уровня освещённости и обнаружение движения. Так свет будет автоматически выключаться там, где нет людей. А светильники будут включаться только при недостатке естественного освещения на ту мощность, которая требуется. Все датчики можно удалённо программировать.

Если сравнить между собой старое освещение и два варианта нового, то необходимо отметить, что при всех своих плюсах новое уступает по экономическим показателям. Светодиодные установки могли бы окупиться за счёт экономии электроэнергии и долговечности, но это займёт достаточно длительный период времени.

Итак, освещение будущего – это:

- экономные источники;
- внедрение систем управления, которые позволят оптимизировать электропотребление;
- использование света в качестве стимула незрительных реакций человека.

Подводя итог хотелось бы отметить, что интеллектуальные решения дают долгосрочный эффект!

Лесное озеро

ИВАНОВА К.Н.

Кто же не любит наблюдать красоту и великолепие закатов и рассветов? Наверняка, все любят эти завораживающие явления. Закат и рассвет – необычайно красивое и умиротворяющее зрелище. Вдохновлённые этими явлениями, художники создают прекрасные полотна, фотографии – восхитительные кадры.

Большинство из нас замечали, что погодные условия оказывают огромное влияние на нашу жизнь, наше настроение. Когда утром за окном тепло и светит солнце, то мы ощущаем некий прилив бодрости и энергии. И представьте обратную ситуацию: в период затяжных проливных дождей или хмурых холодных зимних дней люди чаще впадают в депрессию, уже с утра у многих ощущается чувство усталости и становится сложнее просыпаться.

Именно красота природы вдохновила меня создать проект, в котором каждый может почувствовать себя максимально близко к природе, ощутить все её цвета и отойти от шумного города, хотя бы на время. В качестве

помещения, которое я бы хотела осветить, я выбрала акваклуб. Дизайн помещения играет не менее важную роль, именно поэтому я использовала природные материалы, такие как дерево, камень, воссоздала бассейн имитирующий водоём и лес на стенах с помощью фресок (можно увидеть на рис. 1). Проводя эксперименты со светом, можно создать любое настроение в помещении, подчеркнуть структуры материалов, а также воссоздать цвета, которые задаёт нам природа.

Важную роль в освещении помещения занимает естественный свет. Как летом, так и зимой существуют часы, когда солнечные лучи направлены прямо в окна, в этом случае солнце может оказывать слепящее действие, и находиться рядом с окнами будет некомфортно (рис. 1). В этом случае лучше всего использовать жалюзи. Также мы видим, что с противоположной стороны в зоне бассейна освещённость небольшая и естественного света здесь будет недостаточно. В таком случае можно использовать комбинированное освещение.

Теперь рассмотрим использование искусственного освещения. Первая концепция освещения называется «звёздное небо» (рис. 2а).

Так как в своём проекте я хотела бы максимально сблизиться с природой, то с помощью равномерно распределённых по всему периметру потолка точечных светильников, получаем эффект «звёздного неба».

При проектировании освещения необходимо учитывать нормы. В данном случае в зоне кафе-бара на поверхности столов рекомендуемая освещённость 200 лк, а на поверхность бассейна 150 лк. Из рис. 2 б мы видим, что все нормы выполняются.

Вторая концепция называется «игра света» (рис. 3). В этом случае по всему периметру балок спрятана светодиодная лента, а также позади бассейна со стороны стен. Визуально это приподнимет потолок и скроет угол между бассейном и стеной, что придаст эффект лёгкости. Последнее время всё чаще и чаще находят применение светодиодные ленты, которые могут менять цвета.

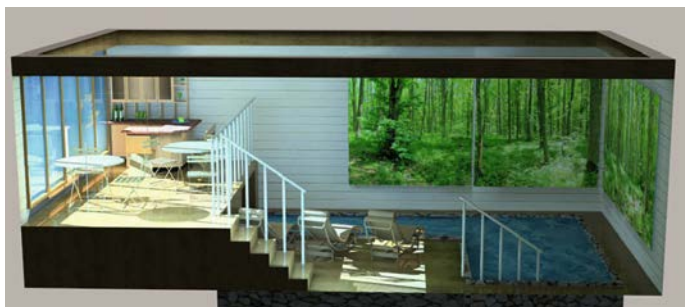


Рис. 1.

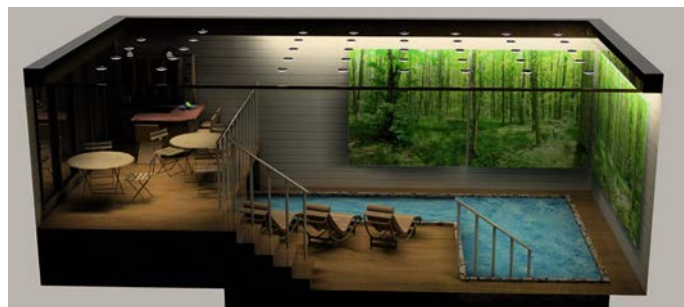


Рис. 2а

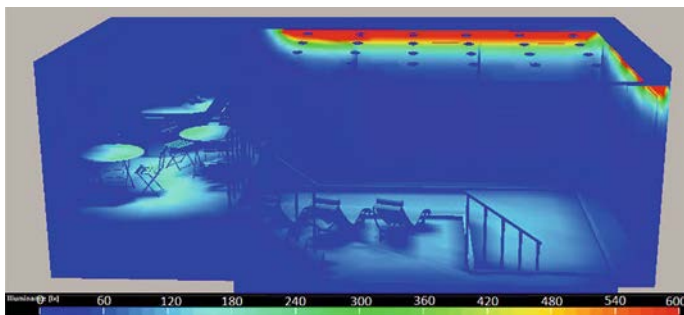


Рис. 2б



Рис. 3

Светодиоды подбираются под любой дизайн и концепцию помещения. Белый, синий, красный, жёлтый, зелёный, тёплые оттенки и холодные – найти можно любой цвет. В необычном интерьере светодиодные ленты станут нужным дополнением, которое принесёт особую атмосферу в помещение. Подходят для разных дизайнерских решений и освежают надоевший вид комнат и дома.

Моя цель – воссоздать цвета природы, и именно с помощью светодиодной ленты достигаем желаемого эффекта. Например, на рис. 3 нижняя линия светодиодной ленты напоминает нам восходящее солнце, а верхняя линия имитирует небо. Тем самым воссоздаём восход. Стоит лишь переключить цвета, и атмосфера помещения мгновенно меняется.

Таким образом, концепция «звёздное небо» создаётся за счёт равномерно распределённых по потолку точечных светильников, а в концепции «игра света» используются светодиодные ленты, которые создают различные режимы освещения, тем самым задают атмосферу и создают настроение.

Citius, Altius, Fortius Alma Mater!

РЫХОВСКИЙ А.И.

Главную роль в данном курсовом проекте играет НИУ «МЭИ», а конкретно Спортивно – технический центр «МЭИ» – это комплекс площадок для занятия спортом и фитнесом, который включает в себя: «Бассейн, Стрелково – спортивный тир и Стадион «Энергия»». И именно последняя площадка, в лице Манежа (как составная часть Стадиона «Энергия»), была взята за основу курсового проекта. Сейчас в Манеже проходят занятия по лёгкой атлетике, и арендуется пространство для игры в большой теннис.

Данная идея появилась благодаря содействию руководства СТЦ «МЭИ», которое любезно согласилось предоставить площадку, и дать по ней всю необходимую информацию, для работы над курсовым проектом. Так как,

на данном этапе, руководство СТЦ «МЭИ» всерьёз задумалось об энергоэффективности существующей уже около 10 лет осветительной установки и об уровне комфорта для теннисистов.

Со своей стороны, я с поддержкой своего куратора, вызвался им помочь и совместить приятное с полезным, а именно подготовить им реальный проект по переосвещению в программе *DIALux EVO*, а также выполнить и защитить курсовой проект.

Наша задача состояла из нескольких пунктов:

1. Разработать систему освещения энергоэффективную и экономичную (использовать приборы с высокой световой отдачей, минимизировать затраты электроэнергии в процессе эксплуатации)

2. Создать комфортные условия для тех, кто занимается в этом пространстве (оптимальные уровни освещённости, отсутствие слепимости, равномерность освещения в различных зонах: зона бега, зона игры в большой теннис), тем самым привлечь арендаторов для использования этого пространства.

3. Соблюсти нормы освещения, которые регламентируются СП 52.13330.2011 и рекомендациями по спортивному освещению.

Основываясь на полученных чертежах помещения и личных наблюдениях, была воссоздана 3D – модель Манежа, в программе *3D Studio Max*. Затем, перед тем как начать светотехнический расчёт в программе *Lightscape*, были отмечены нормы освещённости, которых нам необходимо придерживаться, а именно: зона

бега ≈ 150 лк; зона игры в большой теннис ≈ 300 лк.

И первое, что необходимо было сделать, это проанализировать естественное освещение, чтобы убедиться, что игрокам в теннис и студентам, вполне достаточно естественного света, следовательно, это позволяет не прибегать к включению искусственного освещения в дневное время. Что же касается искусственного освещения, то в качестве первой концепции послужило нынешнее освещение.

На данный момент, в Манеже установлены металлогалогенные прожектора мощностью 400Вт, световой поток одного прожектора ≈ 19850 лм. По два прожектора на колонну, расположенных на выносных кронштейнах с двух сторон. Всего в проекте использовано 64 светильника (Рис. 1). Данный тип светильника выполняет свою функцию и даёт диапазон освещённости порядка 300 лк, что также было по факту проверено показаниями люксметра, которые были сняты в вечернее время в отсутствие естественного освещения (Рис. 2). Но данная осветительная установка имеет ряд серьёзных недостатков, появившихся как в связи с устареванием приборов, так и с резким технологическим скачком в области светотехники, а именно:

- Большие затраты на электроэнергию ежемесячно
- Свойства металлогалогенных ламп (изменение цветности ламп с течением времени), вследствие чего прожектора светят «разными цветами»
- Постоянная замена источников света (в связи с ограниченным сроком службы)

Что приводит к неоправданной затрате средств из бюджета института и к дискомфорту посетителей Манежа. И не смотря на то, что сейчас уровень освещённости достигает регламентированного (300 лк), пространство выглядит тусклым, слабо освещённым и некомфортным для спортсменов. Основываясь на данных выводах, а также учитывая особенности архитектуры помещения, была разработана следующая концепция (Рис. 3).

В данном решении мы используем архитектурный элемент данного пространства – карниз – для установки системы освещения, состоящей из линейных светодиодных светильников, при этом, никак не деформируя стены и потолок. Соединение светильников магистральное, то есть они соединяются между собой последовательно. Это исключает огромного количества проводов. В результате достигается равно-

Рис. 1: Концепция нынешнего освещения в Манеже

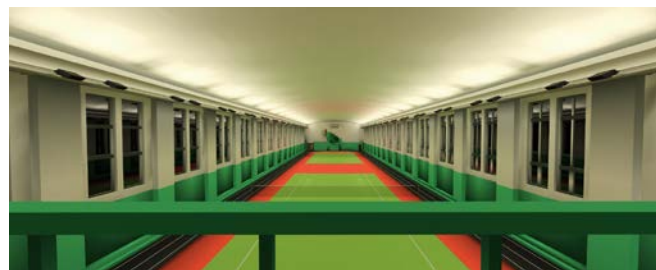


Рис. 2: Концепция нынешнего освещения в Манеже (фиктивные цвета).

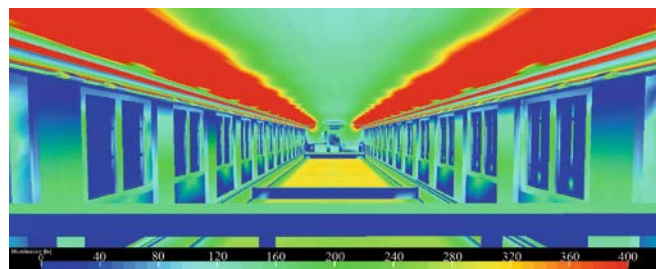
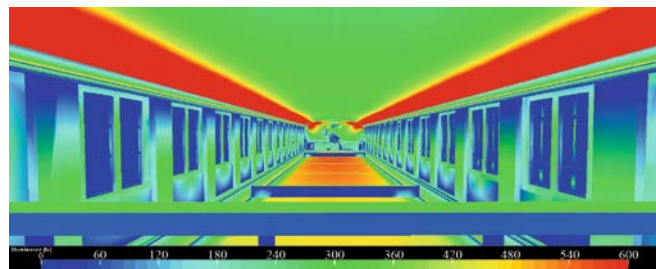


Рис. 3: Предложенная концепция переосвещения Манежа.



Рис. 4: Предложенная концепция переосвещения Манежа (фиктивные цвета).



мерное освещение потолка, без ярко выраженных световых пятен, а также данная установка позволяет значительно экономить электроэнергию в процессе всего периода её эксплуатации, о чём отдельно будет упомянуто в выводах. Говоря о достигнутых показателях данной осветительной установки, отметим, что уровень освещённости удалось повысить в 1,5 раза, а также достичь высокого уровня качества освещения, о чём говорит индекс цветопередачи используемых светильников (R_a более 80). Также, за счёт системы отражённого света пространство Манежа наполнилось светом. Используемые светильники светодиодные (*LED MALL ECO 70 D30 IP54 4000K*, светильник от компании «Световые технологии»), в количестве 94 шт., световой поток одной лампы 8900 лм, цветовая температура светильника, регламентируемая правилами спортивного освещения, составляет 4000К.

Тем самым, исходя из сравнений двух концепций, до и после, были сделаны следующие выводы:

1. Благодаря новой концепции освещения Манежа, мы смогли достичь:

- нормы и светотехнические показатели вместе с мнением заказчика были учтены и достигнуты.

- система отражённого света, полное отсутствие возможности ослепления (по новой концепции мы повторяем приём освещения ныне существующей), которая, в этом плане, на 100% удовлетворяет теннисистов.

- мы не нарушаем, а подчёркиваем особенности архитектуры исторической постройки.

2. Заказчик заинтересован в нашей концепции, и сейчас мы находимся на стадии согласования бюджета по уже подготовленному технико-экономическому обоснованию. Которое показало, что экономия в оплате электроэнергии в месяц, достигает более чем в 4 раза.

СОСЕД музея «Огни Москвы» – ЮЛИАН БОРИСОВИЧ АЙЗЕНБЕРГ

В 2016 году программа «Армянский переулочек. Соседи» музея «Огни Москвы» стала победителем конкурса субсидий для социально-ориентированных некоммерческих организаций, который проводит Комитет общественных связей города Москвы. Основная цель программы – сохранить нематериальное культурное наследие – воспоминания жителей улиц и переулков возле Чистых прудов, именно в этом районе более 37 лет работает музей «Огни Москвы». На основе новых исторических материалов сотрудники музея проводят различные культурно-образовательные мероприятия: лекции, экскурсии, встречи с местными жителями. Так как музей «Огни Москвы» занимается историей освещения, то из собранных в рамках проекта материалов удалось сложить интересную светотехническую историю, с которой смогли познакомиться 11 мая 2017 года участники вечера «Наш сосед – светотехник».

Так что же связывает район у Чистых прудов со светотехникой? Несколько лет назад одна из посетительниц музея Екатерина Алексеева поделилась с музеем электронной копией дневника своего прадеда Солдатова Евгения Ивановича, который приехал в Москву в 1909 году. Он поселился «на самой боевой улице при центре города, на Покровке, у Чистых прудов, в доме Чибисова». И сразу же устроился на фонарную службу. «Работа была очень лёгкая. Полчаса зажигание, да и пол-

часа через день чистка в летнее время. Вот и всё. Фонари были газовые». Такими фонарями освещали практически все улицы и переулки у Чистых прудов. Но в витринах магазинов на Мясницкой можно было увидеть множество электрических новинок. Там же на Мяс-



ницкой в 1906 году была основана первая отечественная фабрика по производству ламп накаливания, владельцем которой был Наум Калманок. Через 14 лет, в 1920 году в доме 24 на Мясницкой располагалась Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО). В Армянском переулке в 30-е годы XX века жил Николай Кузьмич Алифанов – водитель первой автовышки «Мосгорсвета», демонстрация работы которой состоялась в 1936 году во дворе «Моссовета». В 1940-м году в Армянском специально было построено одно из зданий, предназна-

ченных для централизованной системы управления наружным освещением города треста «Мосгорсвет». С пульта, установленного в доме № 3 по Армянскому переулку, диспетчеры следили за обеспечением светомаскировки в центре Москвы в военные годы. Разработкой военной осветительной техники в то время занимался наш сосед с Покровки сотрудник ВЭИ С.Г. Юров. В 40-е годы в Армянском переулке через три дома от «Мосгорсвета», в огромном доме жил юноша, который очень любил читать (он не расставался с книгой даже во время прогулок), учился на «отлично» и мечтал поступить в МГИМО или МГУ. Но жизнь распорядилась иначе. Из-за неосторожной фразы в выпускном сочинении, недопустимой в советское время, пришлось расстаться с золотой медалью и поступить в Московский энергетический институт, где ему открылся удивительно прекрасный мир светотехники, который и стал его подлинным призванием. Сейчас имя нашего соседа по Армянскому переулку хорошо знают многие светотехники – это Юлиан Борисович Айзенберг. По соседству с Армянским переулком, на улице Маросейка находилось раньше здание Министерства среднего машиностроения (атомной промышленности). Юлиан Борисович рассказал сотрудникам музея, что «это было очень важное министерство, которое занималось изготовлением всех взрывчатых веществ.



И меня жизнь потом свела с этим министерством, потому что я занимался освещением особо взрывоопасных цехов, которые находились обычно далеко от городов, в лесах, в тайге, за обваловкой. Мне пришлось потом освещать эти цеха, электрическим освещением, для того, чтобы сделать полностью безопасными эти производства. Если там происходил взрыв, а он часто происходил из-за неполадок в электрической сети, в выключателях, в светильниках, в лампах, то ничего не оставалось, кроме глубокого котлована, ни здания, ни людей, ни оборудования, ничего. Нам удалось осветить все эти здания, сооружения, во многих районах и областях страны с помощью полых световодов, которые были разработаны во Всесоюзном научном светотехническом институте, где я на сегодняшний день работаю уже 63 года».

На встрече в музее «Огни Москвы» Юлиан Борисович рассказал, каким непростым был его путь к светотехнике. Получалось, что все первые

годы учёбы и работы приходилось заниматься светотехникой вопреки всему, по настоянию руководителей. В 1957 году Юлиан Борисович начал работать в журнале «Светотехника», в 1969 году стал его главным редактором. Оказалось, что это очень сложное дело, так как существовала цензура. На вечере в музее «Огни Москвы» Юлиан Борисович рассказал несколько интересных историй. Однажды, буквально за день, перед тем, как отвезти журнал на проверку Юлиан Борисович обнаружил, что в статье о перераспределении кривых силы света вместо сокращения КСС наборщик везде поставил КПСС. Получилось, что сотрудники журнала «Светотехника» решили перераспределить в советское время КПСС (Коммунистическую партию Советского Союза). За один день пришлось переверстать весь номер, чтобы устранить недопустимую, жизненно опасную ошибку.

Большие усилия были направлены в советское время на увеличение объёма журнала, чтобы появилась воз-

можность печатать как можно больше статей. Кто бы мог подумать, чтобы решить эту задачу Юлиан Борисович трижды писал письмо секретарю ЦК КПСС М.А. Суслову: одно – за подписью учёных-светотехников, второе – за подписью ведущих академиков АН СССР, третье – от группы советских космонавтов.

90-е годы XX века стали ещё более серьёзным испытанием для журнала, когда прекратилось государственное финансирование, а подписчики ждали выхода в свет нового номера. Журнал выстоял, пришлось научиться зарабатывать самостоятельно, чтобы сохранить возможность делиться самыми свежими новостями в области светотехники.

В этом году исполнилось 85 лет со дня выхода в свет первого номера журнала «Светотехника». К этой дате сотрудники музея «Огни Москвы» организовали небольшую выставку, на которой представлены номера журнала за разные десятилетия. Рядом осветительные приборы, о которых можно было прочитать на страницах журнала «Светотехника».

Сотрудники музея «Огни Москвы» выражают искреннюю благодарность Юлиану Борисовичу Айзенбергу за интересную встречу, на которой он поделился своими воспоминаниями и об Армянском переулке, и о своей профессиональной деятельности в светотехнике. Желаем Юлиану Борисовичу здоровья и благополучия, а журналу – дальнейшего процветания и развития.

*Наталья Потапова
Музей «Огни Москвы»*

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

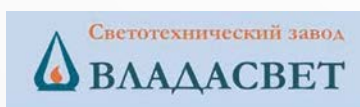
Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества



Холдинг BL GROUP



FAGERHULT



interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного
и технического освещения, электротехники
и автоматизации зданий

7 - 10 ноября 2017

ЦВК «Экспоцентр»

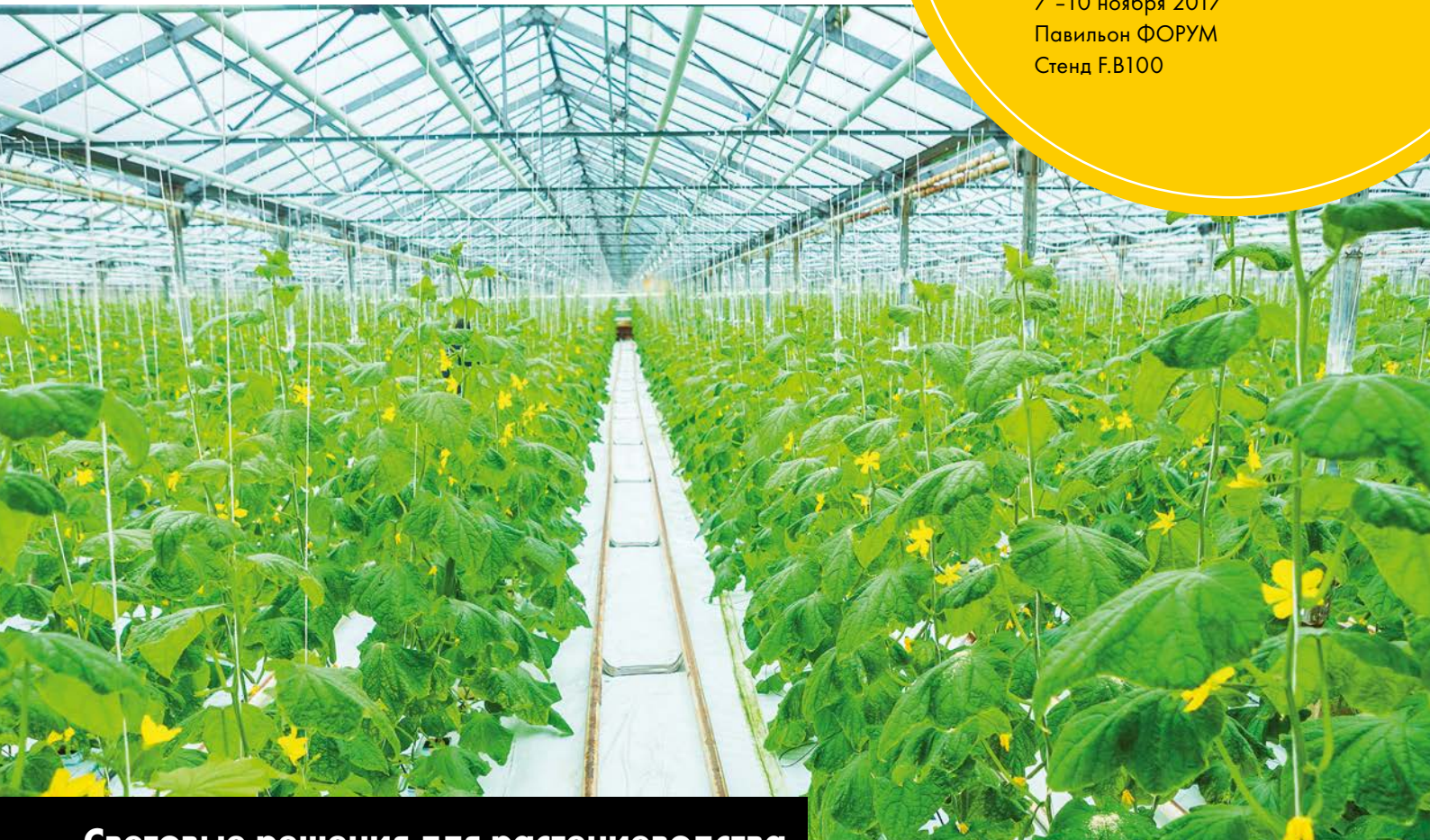
Москва



www.interlight-moscow.ru



messe frankfurt



Световые решения для растениеводства

Ускорение темпов роста · Более интенсивный аромат · Эффективный производственный процесс · Экономия энергии

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

Компания Vossloh-Schwabe адаптирует новейшие COB технологии и объединяет их с оптикой, блоками питания, датчиками и вариантами управления согласно вашей конкретной задаче. Общаясь с клиентами и понимая их требования, мы можем планировать, разрабатывать и производить решения, которые реализуются в тесном сотрудничестве с нашими клиентами и соответствуют требованиям конкретного проекта.



СТАНДАРТНАЯ ПРОДУКЦИЯ

Многолетний опыт, а также множество успешно реализованных проектов позволяют нам разрабатывать стандартные решения. Наши серийные продукты работоспособны и могут быть встроены в существующие системы в качестве отдельных компонентов.



СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЕКТРОВ

Каждый вид растений нуждается в определенном спектре света для оптимизации процесса роста и формирования плодов. Сочетание выбранных длин волн и специальных составов люминофора открывает поле для адресного воздействия на растения.

