ISSN 0039-7067

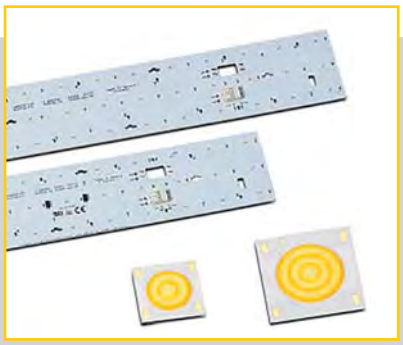
СВЕТОТЕХНИКА

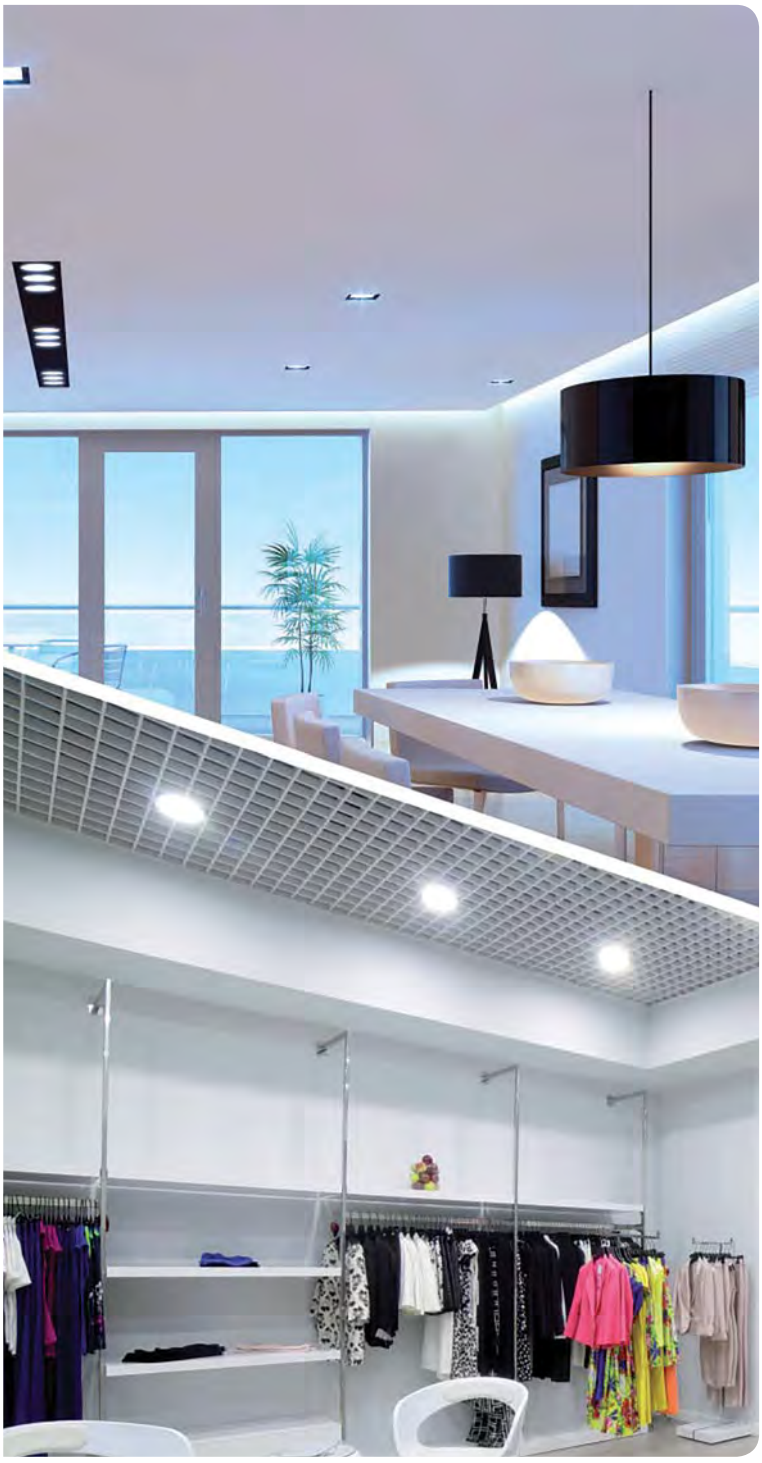
1·2018

opora
engineering
OPORA ENGINEERING – современное предприятие полного цикла по выпуску опор наружного освещения, кронштейнов и металлоконструкций
Россия, г. Москва, проспект Мира, д. 106
opora-e.com
(495) 785-37-40

LIGHTING SOLUTIONS

СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ





Новые светодиодные модули для динамического освещения от компании «Vossloh-Schwabe»

Теперь наряду с модулями **«LED Line CSP Tuneable»** мы представляем модули COB монтажа **«LUGA Shop TW»** и модули SMD монтажа **«LED Line SMD Kit 3R CSP Tuneable»** с трехрядным расположением светодиодов.

Используя эти модули в светильниках, работающих по протоколу DALI, можно, по заранее составленному сценарию, изменять цветовую температуру освещения и световой поток осветительного устройства.

Будет просто создать такую световую среду в офисе, в торговом зале, на заводе, которая обеспечит не только безошибочную и производительную работу персонала, но окажет благотворное влияние на самочувствие сотрудников.

Преимущества светодиодных модулей серий «LED Line CSP Tuneable» «LED Line SMD Kit 3R CSP Tuneable»:

- Технология CSP (chip-scale packages – многослойная упаковка кристалла): меньше кристалл, больше угол излучения; равномерное распределение света;
- Два канала управления: плавное регулирование цветовой температуры: от 2700K до 6000K;
- Срок службы: >60000 часов при tp=65 °C (L90/ B10);
- Высокая светоотдача: до 147 лм/Вт при tp=50 °C;
- Модули выпускаются двух длин: 280 мм и 560мм;
- Применяя существующий широкий ассортимент оптики от VS, можно получать желаемый эффект освещения.

Преимущества светодиодных модулей серии «LUGA Shop TW»:

- Два канала управления: плавное регулирование цветовой температуры: от 2700K до 6500K;
- Срок службы: >50000 часов при tp=65 °C (L90/ B10);
- Специальные цветовые спектры: Food, Pearl White, Clear;
- Три диаметра светоизлучающей поверхности: 14,17, 20 мм;
- Высокая светоотдача: до 134 лм/Вт при tp=65 °C;
- Точность передачи цвета: 4-шаговый эллипс МакАдама.

Vossloh-Schwabe Deutschland GmbH · Hohe Steinert 8 · 58509 Luedenscheid · Germany · Phone +49 (0) 23 51/10 10 · Fax +49 (0) 23 51/10 12 17 · www.vossloh-schwabe.com

СВЕТО ТЕХНИКА
LIGHT & ENGINEERING

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
(Издаётся с января 1932 г.)

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

Шеф-редактор
Ю.Б. Айзенберг, д.т.н., проф., академик АЭН РФ
Главный редактор
В.П. Будак, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.com
Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии
Р.И. Столяревская, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
Л. Бедокс *(Lou Bedocs)*, Thorn Lighting Limited, Великобритания
Т. Берген *(Tony Bergen)*, Технический директор *Photometric Solutions International*, Австралия
Л. Билунд *(Lars Bylund), Bergen's School of architecture*, Норвегия
П.Р. Бойс *(Peter R. Boyce), Lighting Research Center*, США
В. ван Боммель *(Wout van Bommel), Philips Lighting*, Нидерланды
А.А. Богданов, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург
Н.В. Быстрянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
Н. Василев *(Nicolay Vasilev), Sofia Technical University*, Болгария
Д. Вейтч *(Jennifer Veitch), National Research Council of Canada*, Канада
А.А. Григорьев, д.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С. Дарула *(Stanislav Darula), Academy Institute of Construction and Architecture*, Словакия
П. Дехофф *(Peter Dehoff), Zumtobel Lighting*, Австрия
У. Джулиан *(Warren G. Julian), University of Sydney,* Австралия
О.Е. Железникова, к.т.н., МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва
А.А. Коробко к.т.н., БЛ Групп, Москва
Э. Миллс *(Evan Mills), Lawrence Berkeley Laboratory*, США
Л.Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»
Й. Оно *(Yoshi Ohno), NIST Fellow*, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США
А.Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск
Л.Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
В.М. Пятигорский, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Л.Р. Ронки *(Lucia R. Ronchi), Higher School of Specialization for Optics, University of Florence*, Италия
А.К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва
К.А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург
Ф. Хенгстбергер *(Franz Hengstberger), National Metrology Institute,* ЮАР
А.Г. Шахпарунянц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ru
Старший научный редактор
Е.И. Розовский; lamptech@mail.ru
Научный редактор
С.Г. Ашурков; svetlo-nr@yandex.ru
Выпускающий редактор
П.А. Федорищев; fedorishchev@gmail.com
Зав. редакцией
Л.В. Шелатуркина; zav.red@list.ru
Менеджер-референт
М.И. Титаренко; zav.red@list.ru
Стилист английской версии
М.Д. Виноградова
Секретарь редакции
А.В. Лукина; journal.svetotekhnika@mail.ru
Дизайнер-верстальщик
А.М. Богданов
Контент-менеджер
Е.С. Серый

КОРРЕСПОНДЕНТЫ ЖУРНАЛА LIGHT&ENGINEERING/СВЕТОТЕХНИКА В ДРУГИХ СТРАНАХ:

Аргентина
Пабло Икстайна, Национальный технологический университет Ла-Платы;
Франция
Георг Циссис, университет Тулузы;
Индия
Сасвати Мазумдар, университет Джадавпур;
Словения
Грега Бизяк, Люблянский университет;
Турция
– Тугсе Казанасмаз, Измирский технологический институт;
– Эрдал Шехирли, университет Кастамону;
– Ренгин Юнвер, Технический университет Йылдыз (Стамбул)

АДРЕС РЕДАКЦИИ

129626, Москва, проспект Мира, 106, ВНИСИ, оф. 327

Тел. 7(495)682–26–54; 7(499)706–80–65
Тел./факс: 7(495)682–58–46

E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru

Интернет: www.sveto-tekhnika.ru

Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

Перепечатка статей и материалов из журнала «Светотехника» – только с разрешения редакции.
За содержание и редакцию информационных материалов ответственность несет источник информации.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 06.01.18. Подписано в печать 06.02.18
Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

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

СОДЕРЖАНИЕ 1·2018

В НОМЕРЕ

ЯНВАРЬ • ФЕВРАЛЬ

Бизнес и инновации 34, 37, 56, 61

Айзенберг Ю.Б., Будак В.П. Что было в 2017 и что будет в 2018–2020 годах 4

Векленко Б.А. Природа фотона и квантовая оптика 7

Бозорг Ченани С., Рясянен Р.-С., Тетри Е. Состояние и перспективы развития дорожного освещения 15

Пчелин В.М., Макарова И.Е. Оценка состояния и перспектив развития систем облучения в современных тепличных комплексах 23

Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения 28

Инюцын А.Ю., Мельников Д.А. О логике технического регулирования в области освещения 35

Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В. Результаты исследований пространственной структуры излучения атмосферы в спектральном диапазоне 1,5–2 мкм 40

Ивашин Е.А., Хлевной Б.Б., Широков С.С., Тищенко Е.В. Разработка новых фотометрических эталонов на основе мощных светодиодов 45

Тукшаитов Р.Х., Абдуллазянов Э.Ю., Нигматуллин Р.М., Айхайти И. О коэффициенте мощности светодиодных ламп (в связи с требованиями ГОСТ Р 55705–2013) 49

Гэ А., Лин Ч., Тао С., Хао Р., Чэнь Ц. Самонастраивающаяся настольная лампа со светодиодами на основе датчика *TCS3414CS* 52

Яо Ц. Естественное освещение при ручном регулировании солнцезащитных устройств 57

Павлов С.А., Корякин С.Л., Шерстнева Н.Е., Максимова Е.Ю., Антипов Е.М. Высокоэффективные укрывные материалы с квантовыми точками для теплиц 62

Белкин А.Н., Дормидонтова В.В. Особенности искусственного освещения исторической и современной ландшафтных композиций 69

ПРАКТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОУ

Ходырев Д.М. 10-летие одной из первых в России светодиодных осветительных установок 74

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

Юшков Д.Д. О разработке профессиональных стандартов в области светотехники 48

Извинения редакции 56

Капитонов С.С., Капитонова А.В. Исследование электрических и тепловых режимов работы светодиодов в светильнике 77

Лауреаты журнала «Светотехника» 87

ХРОНИКА

Варфоломеев Л.П. Светотехнические экспонаты на выставке *«Interlight Moscow powered by light+building»* – 2017 79

Гвоздев-Карелин С.В. Проблемы технического соответствия светотехнических изделий и ассоциация «Честная Позиция» 90

Памяти Галины Васильевны Каменской 96

СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика» 93

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Международные выставки и конференции в 2018 году (II квартал) 22

Пашковский Р.И. Расчёт минимального тока однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии 86

Правила оформления рукописей 91

РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС

Снетков В.Ю. Второе общее заседание НТС «Светотехника» 88

ИСТОРИЯ ТЕХНИКИ

Лесман Е.А. Электрическому освещению Эрмитажа 130 лет 89

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Светодиодные модули *Vossloh Schwabe* для динамического освещения 1

28-я международная конференция «ГРАФИКОН 2018» 14

Международная светотехническая корпорация «Боос Лайтинг Групп» – лидер светотехнической отрасли России 38

Создание новых виртуальных форм светом ..... **1 с. обл.**

Современное предприятие полного цикла по выпуску опор наружного освещения ..... **2 с. обл.**

Управление освещением – залог безопасности! ..... **3 с. обл.**

Светодиодные модули для промышленного освещения *«LED Industry Kit»* ..... **4 с. обл.**

ЧТО БЫЛО В 2017 И ЧТО БУДЕТ В 2018–2020 ГОДАХ

Ю.Б. Айзенберг
профессор

В.П. Будак
профессор

Для нашего журнала истекший год был эффективным и интересным. Этот год был ознаменован публикацией большой серии аналитических обзоров о современном состоянии и перспективах развития ряда важнейших направлений светотехники (всего 12 обзоров), публикацией регионального тома журнала «*Light and Engineering*» (№ 3), посвящённого решению проблем солнечной энергетики в Китае (250 страниц и 35 статей), дальнейшим расширением публикаций зарубежных авторов в «*Light and Engineering*» (с 2010 года опубликовано 120 статей 230 авторов из 23 стран мира).

Редакция журнала выступила в качестве соучредителя вновь образованного отраслевого научно-технического совета (НТС «Светотехника»), а члены руководства журнала стали заместителем председателя НТС и председателями двух важных секций НТС.

В 2017 году была сформулирована концепция перестройки работы журнала, опубликована на страницах журнала, разослана всем членам редколлегии журнала. В рамках этой важнейшей работы ведётся полная переработка сайта журнала, решён вопрос о финансировании этой большой работы при поддержке генерального партнёра – международной светотехнической корпорации «Боос Лайтинг Групп». В ходе этой работы была сформирована концепция о едином журнале «Светотехника / Light and Engineering» с двумя формами (на русском и английском языках), создана единая редколлегия этого журнала, сформирована группа соучредителей журнала в составе Академии электротехнических наук РФ (АЭН РФ), Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института (ВНИСИ) и Национального исследовательского университета «МЭИ».

В стремлении расширить подписку на «Светотехнику» и сделать самостоятельные шаги в сторону приближения к самоокупаемости журнала его руководство направило две крупных серии писем с предложением об установлении партнёрских отношений в адрес 32 Федеральных министров и руководителей крупнейших госкорпораций и 89 губернаторов регионов России. При этом в письмах министрам предлагались конкретные мероприятия с учётом специфики деятельности каждого министерства, которые может осуществить журнал, а в письмах губернаторам предлагалась конкретная помощь в деле совершенствования наружного освещения городов, подготовки энергосервисных контрактов и проведению семинаров по обмену опытом по реконструкции осветительных установок городов и энергосбережению в этих установках.

Была получена большая часть ответов министерств и ведомств, как правило, носящих одобрительный характер без конкретных предложений (кроме Министерства спорта за подписью В.Л. Мутко, в котором предлагалось рассмотреть возможности сотрудничества) и около половины ответов губернаторов, согласных на сотрудничество при условии приезда специалистов журнала в их регионы для проведения там интересующих их семинаров. В результате, первый подобный семинар для всех желающих был проведён редакцией в Москве и Лихославле в ноябре 2017 года и прошёл весьма успешно. Работа с регионами будет продолжена в 2018 году.

Нельзя не упомянуть также о двух важных мероприятиях, проведённых с большой помощью членов редколлегии Н.И. Щепеткова и А.К. Соловьёва. Были подготовлены 75 писем и направлены во все архитектурные ВУЗы страны за подписью ректора МАРХИ и руководства журнала и 75 писем во все строительные университеты за подписью Президента Ассоциации ректоров строительных ВУЗов и руководства наших журналов. В письмах было рассказано о журналах (сами журналы прилагались) и предлагалось сотрудничество по отбору и публикации статей преподавателей и лучших студенческих работ, а также по расширению подписки на журнал.

К величайшему сожалению, эта деятельность не дала результата. Мало того, мы даже не получили ни одной благодарности за наши предложения.

Редакция разослала письма всем участникам конференции по компьютерной графике «ГРАФИКОН-2018» с предложением публиковать результаты своих работ на страницах нашего журнала, поскольку программы компьютерной графики стали на сегодня стандартом отрасли при моделировании осветительных установок. Главный редактор журнала В.П. Будак выступил с кратким сообщением о журнале и его тематике на конференциях по оптике атмосферы (Международном симпозиуме по атмосферной радиации и динамике «МСАРД-2017» в Петергофе, XXIII Международном симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» в Иркутске) и на IX Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы оптики естественных вод» *ONW*-2017. Результатом этого стали публика-

ции на темы компьютерной графики, распространения света в океане и атмосфере в журнале, которые продолжатся и в этом году. В 2018 году в городе Томске при информационной поддержке журнала состоится конференция «ГРАФИКОН-2018», одна из секций которой будет посвящена теме «Компьютерная графика, светотехника и дизайн», и мы просим всех читателей журнала обратить внимание на информационные материалы на страницах журнала, посвящённые этому событию.

Основной акцент проводимой перестройки – перенос центра тяжести деятельности на значительное развитие англоязычной версии «*Light and Engineering*» и превращение её в основную научную часть издания тандема журналов с приданием ему международного характера.

С сегодняшних позиций миссией нашего журнала является развитие науки о свете в рамках лучевых, фотометрических представлений и применения её результатов для комфортного освещения, в технологических целях, в том числе в солнечной энергетике, при освоении космоса и мирового океана, для обеззараживания воды и воздуха, в медицине. Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются разработка способов генерации, пространственного перераспределения оптического излучения, а также его преобразования в другие виды энергии и использование в различных целях.

XXI век – век света, а 16 мая каждого года объявлен ЮНЕСКО всемирным днём света. Область применений света в настоящее время непрерывно расширяется. Наличие единого международного научно-технического журнала позволяет рассматривать основополагающие теоретические и прикладные проблемы из всех сфер использования света в производстве, на отдыхе и в жизни человечества, с единых научных позиций. «Светотехника / *Light and Engineering*» – единственный в мире журнал, в котором наряду с проблемами освещения рассматриваются проблемы использования света в технологических целях в рамках теории светового поля. Важнейшая роль применения света связана с тем, что более 15 % всей генерируемой электроэнергии используется на освещение, а в мегаполисах и до 20 % энергии. Публикации на темы применения света в узкоспециализированных журналах вне единых позиций лучевых представлений приводит к созданию различных, дублирующих систем терминологии, открытий уже давно открытого в других областях.

Журнал «Светотехника / *Light and Engineering*» входит во все ключевые мировые наукометрические базы данных – *Scopus, Web of Science* и отечественный РИНЦ, что позволяет ему быть информационно связанным с мировой и отечественной светотехнической наукой. Журнал «Светотехника» входит в список ВАК РФ.

В рамках концепции двух форм журнала «Светотехника / *Light & Engineering*» англоязычная форма «*Light & Engineering*» должна стать основной научной частью международного издания по теории светового поля в фотометрическом описании и всех возможных её приложений на практике. Русскоязычная часть «Светотехника» должна стать национальным компонентом выполняющим роль национального компонента и служит целям развития русской научной терминологии, российского образования, подготовке научных кадров, широкому обмену опытом по энергосбережению и сокращению трудовых затрат, повышению производительности труда во всех сферах производства, проведению дискуссий по основным проблемам развития отечественной светотехники. Поэтому «Светотехника» будет включать не только все научные статьи, но и дискуссии, справочные материалы, обращения журнала в министерства и ведомства.

С этой целью были подготовлены и разосланы письма членам международной редколлегии *(International Editorial Advisory Board)* для выяснения их мнения по этому вопросу и оказания необходимой поддержки в случае принципиального согласия. Приятно отметить, что все иностранные члены Редколлегии поддержали нашу инициативу, в том числе два экс-президента МКО, что немаловажно. В соответствии с этим были подготовлены и направлены письма с предложениями об установлении партнёрских отношений в национальные светотехнические комитеты МКО 8 стран (Аргентины, Бразилии, Греции, Турции, Индии, Израиля, Южной Кореи и Ирана), не имеющих собственных регулярных научно-технических изданий по нашей тематике. Подготовлены письма и в другие две страны (Мексику и Финляндию) до выяснения подробных данных об адресатах. Параллельно с этой работой выявлены наиболее часто пишущие в наш журнал авторы из этих и других стран, которым также направлены письма с просьбой о поддержке нашего предложения, посланного в национальные комитеты МКО их стран. Были высказаны и некоторые сомнения о возможности реализации нашей программы.

В наших предложениях о партнёрстве мы берём на себя расширение публикации статей и различного вида информаций о состоянии светотехники в этих странах в «*Light and Engineering*» в обмен на содействие национальных комитетов МКО в подборе и рекомендации статей авторов этих стран и продвижении дела подписки на наш журнал в своих странах. С этой целью в ряде стран (Словения, Аргентина, Франция, Индия, Турция) уже созданы корреспондентские пункты журнала Светотехника / «*Light and Engineering*».

Одновременно с этим руководство журнала выдвинуло идею создания при секретариате МКО в Вене комитета или группы по светотехнической печати, в которую могут войти главные редактора основных научно-технических журналов. Это позволит сделать работу всех отделений МКО более открытой, с помощью журналов можно будет не только информировать всех специалистов-светотехников разных стран о работе МКО, о вышедших рекомендациях, технических отчётах и стандартах, но и подключить этих специалистов к обсуждению проектов документов технических комитетов на стадии их разработки. Для апробирования нашего предложения были подготовлены и разосланы главным редакторам основных изданий (2 в США, 2 в Англию, по одному в Германию, Францию, Японию и Чехию). При принци-

пиальном согласии с нашим предложением, мы надеемся на его поддержку со стороны этих высоко авторитетных изданий. Первый положительный отклик из Англии уже получен.

В августе редакция начала подготовку к участию в конкурсе, объявленном Минобрнауки на финансовую государственную поддержку в 2018–2020 годах журналам-победителям этого конкурса, который проводится в три этапа. После первого из них из 2500 журналов Минобрнауки само отбирает 500 журналов. После второго этапа должно остаться 100 журналов. И только из этой сотни на третьем этапе отбирается 70 победителей конкурса, получающих государственную финансовую поддержку. Приятно, что первый этап конкурса в ноябре 2017 года мы прошли успешно.

В документах, подготовленных для представления на конкурс, были чётко сформулированы следующие важные проблемы, решаемые журналом, область его деятельности и основная миссия журнала на сегодня и на перспективу.

Важнейшие задачи, которые стоят перед нашим журналом:

1. Превратить тандем наших журналов в Мировой центр публикаций и экспертизы, посвящённых свету как основопологающему фактору жизни человеческого общества. Популяризация достижений российской светотехнической науки в мировой литературе

2. Расширение тематики журнала

Единственный в мире журнал, посвящённый теории светового поля в лучевом, фотометрическом приближении и её приложений в области освещения, технологии и медицины.

3. Обеспечение мирового статуса *L&E/Svetotekhnika*

Налаживание взаимодействия с Национальными светотехническими комитетами различных стран (прежде всего, не имеющих своих научных светотехнических изданий) по отбору и рецензированию статей авторов этих стран, а также по расширению подписки на журнал.

4. Пропаганда знаний о свете

Создание виртуального Издательского «Дома Света» – центра пропаганды знаний о свете, о его природе, роли света в жизни человека, методах его эффективного использования, основных учёных и изобретателях, внёсших значительный вклад в развитие науки о свете и техники его использования.

Пропаганда знаний о свете через сайт журнала, социальные сети – *Facebook, Twitter, VK, Mendeley, ResearchGate, Instagram, YouTube*

5. Проведение систематических читательских конференций в России и за рубежом, презентации журнала на международных выставках

6. Участие в конференциях с организацией стендов журнала и проведением круглых столов. Издание специализированных заказных номеров журнала по различным направлениям светотехники для расширения влияния журнала и улучшения экономической ситуации.

7. Создание Координационного комитета при руководстве Международной Комисии по освещению (МКО) по светотехнической печати

8. Активная роль журнала в высшем светотехническом образовании

9. Создание премий за лучшую научную или конструкторскую работу в области светотехники

10. Введение системы премирования лучших авторов и рецензентов

11. Публикация заказных аналитических обзоров ведущих специалистов по современным направлениям светотехники

12. Создание сайта на двух языках с *OJS*

13. Увеличение объёма русской версии журнала до 12 номеров в год, английской версии – до 6

Каждая статья, публикуемая в журнале, проходит обязательное двойное «слепое» рецензирование, что гарантирует высокий научный уровень публикаций.

Мы надеемся, что реализация этой большой программы займёт не только новый 2018 год, но и позволит получить ряд важных результатов для дальнейшего развития журнала «Светотехника / *Light and Engineering*» в 2019 году.

Естественно, что реализацию этой программы мы начинаем с №1 этого года. Главным объектом всех исследований в светотехнике является свет. Однако из-за отсутствия доступных сведений о современном состоянии теории света, по меткому выражению лауреата Нобелевской премии У.Е. Лэмба (*W.E. Lamb*), ничто не породило столько нелепостей и анекдотов как использование в приложениях понятия «фотон». Часто в «популярных» изложениях науки кажущаяся простота достигается за счет существенного искажения того, что берутся описывать. Уважение к свету не позволило нам этого сделать. Автор первой статьи этого номера пытается добиться максимальной ясности и простоты, бескомпромиссно отвергая любые искажения истины.

Среди других интересных статей этого номера хотелось бы обратить на некоторые, где обсуждаются «горячие» светотехнические темы: финансово-экономический анализ внедрения в тепличное освещение светодиодов (Пчелина В.М. и др.) – да, за светодиодами будущее, однако в настоящее время с ними вполне конкурентноспособны НЛВД; полный и всесторонний обзор современных технологий дорожного освещения (Тетри Э. и др.); новые технологии освещения не отрицают дальнейшее развитие классических методов (Овчарова А.Т. и др.) осветительных установок по перераспределению и трансферу светового потока в пространстве; возможности преобразования спектра источника (Павлов С.А. и др.) на основе использования квантовых точек; исследования пространственной структуры излучения атмосферного фона (Мищенко А.М. и др.). Именно такая широта различных применений характерезует современную светотехнику.

Ю.Б. Айзенберг, профессор
В.П. Будак, профессор

Природа фотона и квантовая оптика

Б.А. ВЕКЛЕНКО

Объединённый институт высоких температур (ОИВТ) РАН, г. Москва
E-mail: veklenkoba@yandex.ru

Всё должно быть сделано настолько простым,
насколько возможно, но не проще.
А. Эйнштейн.

Аннотация

В сжатой, но доступной для первоначального ознакомления форме изложена процедура квантования линейного осциллятора. По аналогии с этой процедурой изложена процедура квантования (вторичное квантование) классической максвелловской электродинамики. Выяснен физический смысл аргументов волновой функции поперечного электромагнитного поля и её образа Фурье. Уделено внимание как квантовым когерентным (почти классическим) состояниям электромагнитного поля, так и фотонным (фоковским) состояниям. Обращено внимание на факт отсутствия универсального содержания таких понятий, как амплитуда поля, фаза, а также число частиц (фотонов), используемых экспериментаторами для описания состояний квантованного поля. Изложено полуколичественное рассмотрение процессов взаимодействия квантованного электромагнитного поля с веществом. Указаны ситуации, в которых расхождение предсказаний классической и квантовой электродинамик заметно на макроскопическом уровне.

Ключевые слова: классическая электродинамика, квантовая электродинамика, квантовые когерентные состояния, фоковские состояния, фотон

1. Введение

Около ста лет назад известный французский физик Л. де Бройль (1892–1987) задался целью описать дифракционные и интерференционные свойства фотона, существование которого было теоретически предсказано М. Планком (1858–1947) в 1905 году. В основу своей теории [1] де Бройль положил известные в то время уравнения $E=\hbar\omega$ и $E=mc^2$. Такой путь привёл его к выводу о существовании у фотона пусть малой, но конечной массы m. Но осталось неясным, в чём заключаются принципиальные отличия фотона от других «массивных» элементарных частиц. И тогда де Бройлю пришла в голову гениальная мысль: если принципиального отличия между частицами нет, то, наоборот, все «массивные частицы», как и фотон, должны обладать волновыми свойствами. Так была построена квантовая механика частиц, обладающих конечной массой. Но свою сформулированную выше первоначальную задачу де Бройль не выполнил. Теория фотона, обладающего как корпускулярными, так и волновыми свойствами, была построена позднее, спустя пять лет, трудами других учёных. Эта теория оказалась достаточно богатой и сложной, потребовавшей усилий нескольких человек. Ниже в элементарном изложении приводятся её основные концепции.

Представление о свете и его внутренней структуре по мере развития научных знаний претерпевало драматические изменения. Понятие «луч света» имеет древнее происхождение. Известны два автора закона преломления: В. Снеллиус (1580–1626) и Р. Декарт (1596–1650). Работами Х. Гюйгенса (1629–1695), Р. Гука (1635–1703) и частично И. Ньютона (1643–1727) была вскрыта волновая природа света. Но датой становления этой теории следует считать 1865 год, когда Дж.К. Максвелл (1831–1879) вывел из своей теории электричества и магнетизма заключение о существовании электромагнитных волн. Описываемые электрической $E^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ и магнитной $H^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ напряжённостями, заданными в каждой точке пространства $\boldsymbol{r}$ в любой момент времени t, эти волны прекрасно количественно описывают интерференцию, дифракцию и поляризацию света. Но в вопросах излучения и поглощения света возникают трудности.

Исследуя этот вопрос, первоначально из термодинамических соображений, а затем разрабатывая гипотезу Л. Больцмана (1844–1906) о неизбежности в природе скачкообразных процессов, М. Планк ввёл в теорию понятие «фотон», что было доложено им на заседании Немецкого физического общества 14 декабря 1905 года. Введение фотона сделало возможным понимание атомных явлений. О свойствах самого фотона до конца двадцатых годов прошлого столетия фактически не было известно ничего, кроме выражений для его энергии $\hbar\omega$ (ω – частота) и импульса $\hbar\boldsymbol{k}$ ($\boldsymbol{k}$ – волновой вектор). Как только речь заходила о фотонах, приходилось забывать об атрибутах теории Максвелла $E^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ и $H^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$. Так вошла в теорию постоянная Планка $\hbar=1{,}05\cdot10^{-27}$ эрг·с. Относительно скоро стало понятно, что эта постоянная применима не только к свету, но и к телам конечной массы.

Трудами в первую очередь Н. Бора (1885–1962), Л. де Бройля, В. Гейзенберга (1901–1976) и Э. Шрёдингера (1887–1961) была построена квантовая механика частиц конечной массы. Именно эта теория указала путь и необходимость построения последовательной квантовой теории оптических явлений, что непосредственно следует из определения напряжённости $E^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ как силы, действующей со стороны поля на единичный точечный заряд. В квантовой теории любое заряженное тело описывается волновой функцией, понятие локализации размывается. Вместе с ним размывается и классическое понятие напряжённости поля. Квантовая теория электромагнитного поля была построена в трудах П. Дирака (1902–1984), В. Гейзенберга, В. Паули (1900–1958), П. Иордана (1902–1980) и Э. Ферми (1901–1954) в период с 1927 по 1930 г. В этой теории сочетаются классические (волновые) и квантовые (корпускулярные) свойства фотонов. На вопрос «Что такое фотон?» эта теория даёт чёткий ответ: «Фотон – это электромагнитный объект, описываемый свойственной ему волновой функцией». Явный вид волновой функции хорошо известен, тогда как с её интерпретацией

дело обстоит сложнее. Здесь сохраняются все проблемы, свойственные волновой функции квантовой механики частиц конечной массы, нередко обсуждаемые по сегодняшний день [2]. Но при этом появляются и дополнительные вопросы касательно методов её расчёта. Несмотря на то, что в настоящее время такая теория хорошо развита, в инженерной практике она не нашла ещё своего применения.

Настоящий обзор ставит целью ввести читателя в нетривиальный круг идей квантовой теории электромагнитного поля. Хочется верить, что если читатель с карандашом в руке просмотрит предлагаемый обзор более одного раза, то это существенно облегчит ему в дальнейшем знакомство с толстыми учебными пособиями [3] на предлагаемую тему.

2. Классическое электромагнитное поле и квантовый осциллятор

Согласно уравнениям Максвелла, электромагнитные волны, характеризующие распространение света в вакууме, могут быть описаны путём введения векторного потенциала $A^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$, удовлетворяющего волновому уравнению [4]:

$$\nabla^2 A^{\nu}(\boldsymbol{r},t) - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}A^{\nu}(\boldsymbol{r},t) = 0 \qquad (1)$$

Вместо векторного потенциала традиционно используют векторы

$$E^{\nu}(\boldsymbol{r},t) = -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}A^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \text{ и } H^{\nu}(\boldsymbol{r},t) = rotA^{\nu}(\boldsymbol{r},t). \qquad (2)$$

Решение уравнения (1) можно представить в виде суперпозиции плоских волн:

$$A^{\nu}(\boldsymbol{r},t) = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda}\gamma_k\left(\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda}e^{i\boldsymbol{kr}-ikct} + \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda}e^{-i\boldsymbol{kr}+ikct}\right), \qquad (3)$$

где $\boldsymbol{k}$ – волновой вектор с компонентами $\{k_x, k_y, k_z\}$, $\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda}$ – безразмерные постоянные, зависящие от длины волны $\lambda = 2\pi / k$ и индекса поперечной $((ke_{k\lambda}) = 0)$ поляризации $\lambda = 1,2$. Через $e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda}$ обозначены единичные векторы, перпендикулярные направлению распространения волны, то есть вектору $\boldsymbol{k}$. Далее, c – скорость света в вакууме, а вещественные, обладающие размерностью векторного потенциала функции γ_k введены для удобства дальнейшего рассмотрения. Если положить $\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} = |\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda}|\exp(i\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda})$, то получим:

$$A^{\nu}(\boldsymbol{r},t) = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda}A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\left(\boldsymbol{kr} - kct + \vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}\right),\ A_{\boldsymbol{k}\lambda} = 2|\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda}|\gamma_k. \qquad (4)$$

Согласно (4), классические электромагнитные волны описываются путём внесения в каждую точку пространства $\boldsymbol{r}$ классического осциллятора, совершающего гармонические колебания $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\left(\boldsymbol{kr} - kct + \vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}\right)$ с частотой $\omega_k = kc$. Это наводит на мысль, что при описании квантовой электромагнитной волны классические осцилляторы должны быть заменены на квантовые.

Напомним, что под классическим осциллятором понимается материальная точка с массой m, координата которой $x(t)$ под действием упругой силы $f(t) = -\chi x(t)$ совершает гармонические колебания с частотой ω. Из закона Ньютона $m\left(d^2/dt^2\right)x(t) = -\chi x(t)$ следует, что

$$x(t) = x_0\cos\left(\omega t + \vartheta\right) \text{ при } \omega = \sqrt{\chi / m}.$$

Как строится квантовая теория осциллятора? В квантовой теории на смену координате материальной классической точки x и её импульсу p приходят операторы $x \to \hat{x} \equiv x$, $p \to \hat{p} = -i\hbar\partial/\partial x$. При такой замене выражение для полной энергии E классической точки заменяется операторным выражением, носящим название оператор полной энергии H или «гамильтониан»:

$$E = \frac{p^2}{2m} + \frac{\chi}{2}x^2 =$$
$$= \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2}{2}x^2 \to -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{m\omega^2}{2}x^2 = \hat{H}.$$

В квантовой механике состояние квантовой частицы описывает волновая функция $\psi(x)$, подчиняющаяся уравнению, носящему имя Э. Шрёдингера:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{m\omega^2}{2}x^2\right)\psi(x) = E\psi(x) \text{ или}$$
$$\hat{H}\psi(x) = E\psi(x). \qquad (5)$$

Квадрат волновой функции $\psi^*(x)\psi(x)dx$ определяет вероятность обнаружения классической координаты частицы в интервале dx, окружающем точку x, если такой эксперимент будет поставлен. Поэтому

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi^*(x)\psi(x)dx = 1.$$

Выпишем несколько формальных свойств квантового осциллятора [5]. После замены переменных

$$\varsigma = x\beta,\ \beta = \sqrt{\frac{\omega m}{\hbar}},\ \lambda = \frac{2E}{\hbar\omega}$$

уравнение Шрёдингера (5) принимает вид:

$$\left(\varsigma^2 - \frac{d^2}{d\varsigma^2}\right)\psi(\varsigma) = \lambda\psi(\varsigma),$$

Разумеется, вместо $\psi(\varsigma)$ можно было бы использовать запись $\psi\left(x\sqrt{\omega m/\hbar}\right)$, но это неудобно. Выражение в скобках напоминает алгебраическую разность квадратов. Поэтому представляется естественным использование операторов

$$\hat{\alpha}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\varsigma+\frac{\partial}{\partial\varsigma}\right),\ \hat{\alpha}^{+}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\varsigma-\frac{\partial}{\partial\varsigma}\right).$$

Посредством этих операторов уравнение Шрёдингера переписывается в виде

$$\frac{\hbar\omega}{2}\left(\hat{\alpha}^{+}\hat{\alpha}+\hat{\alpha}\hat{\alpha}^{+}\right)\psi(\varsigma)=E\psi(\varsigma),\ \hat{H}=\frac{\hbar\omega}{2}\left(\hat{\alpha}^{+}\hat{\alpha}+\hat{\alpha}\hat{\alpha}^{+}\right).\quad(6)$$

При дополнительном условии $\int\limits_{-\infty}^{\infty}\psi^{*}(\varsigma)\psi(\varsigma)d\varsigma=1$ это уравнение имеет много решений, определяемых индексом $n=0,1,2,...$ Обозначим эти решения через $\varphi(\varsigma|n)$:

$$\varphi(\varsigma|n)=H_n(\varsigma)e^{-\frac{\varsigma^2}{2}},\ H_n(\varsigma)=\frac{(-1)^n}{\sqrt{2^n n!\sqrt{\pi}}}e^{\varsigma^2}\frac{d^n}{d\varsigma^n}e^{-\varsigma^2}.\quad(7)$$

Функция $H_n(\varsigma)$ носит название полиномов Эрмита. Каждому решению $\varphi(\varsigma|n)$ соответствует своё значение параметра E: $E_n=\hbar\omega(n+1/2)$, определяющего дозволенные дискретные значения энергии осциллятора, если на него не действуют внешние силы. Функции (7) оказываются вещественными и обладающими следующими свойствами:

$$\begin{gathered}\hat{\alpha}\varphi(\varsigma|n)=\sqrt{n}\varphi(\varsigma|n-1),\\ \hat{\alpha}^{+}\varphi(\varsigma|n)=\sqrt{n+1}\varphi(\varsigma|n+1),\ \int\limits_{-\infty}^{\infty}\varphi(\varsigma|n)\varphi(\varsigma|n')d\varsigma=\delta_{nn'}.\end{gathered}\quad(8)$$

Из этих равенств следует, что

$$\hat{\alpha}^{+}\hat{\alpha}\varphi(\varsigma|n)=n\varphi(\varsigma|n).$$

Оператор $\hat{n}=\hat{\alpha}^{+}\hat{\alpha}$ носит наименование оператора числа. В дальнейшем с его помощью будет построен оператор числа фотонов. Если волновая функция $\psi(\varsigma)$ не совпадает ни с какой из $\varphi(\varsigma|n)$, то число фотонов в этом состоянии не имеет точного значения, и можно говорить только об их усреднённом квантовом числе $\langle\hat{n}\rangle=\int\limits_{-\infty}^{\infty}\psi^{*}(\varsigma)\hat{n}\psi(\varsigma)d\varsigma$.

В общем случае, если на осциллятор действуют внешние силы, то волновая функция может существенно зависеть от времени. Вместо уравнения (5) её поведение теперь определяет временное уравнение Шрёдингера:

$$i\hbar\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t}=\hat{H}\Psi(x,t).$$

3. Процедура квантования электромагнитного поля

Будем говорить, что некоторый набор параметров описывает состояние материального объекта в некоторый момент времени $t=0$, если этот набор достаточен для предсказания результатов любого потенциально возможного эксперимента, проводимого над объектом в любой последующий момент времени $t>0$. В классической механике состояние точечной частицы в одномерном случае описывается координатой x и импульсом p. При переходе от классической механики к квантовой координата частицы и импульс заменяются соответствующими операторами. Аналогичная ситуация возникает и в теории поля. В классической теории электромагнитного поля состояние поля определяет его амплитуда $A^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$. Это означает, что при переходе от классической оптики к квантовой амплитуда поля должна быть заменена на операторное выражение. Состояние любой системы в квантовой теории описывает волновая функция ψ, удовлетворяющая уравнению Шрёдингера. Явный вид гамильтониана в этом уравнении будет подсказан процедурой квантования классического осциллятора с заменой энергии электромагнитного поля его квантовым аналогом. В классической физике энергия плоских электромагнитных волн, занимающих объём V, описывается формулой:

$$E=\int\limits_{V}\frac{E^2(\boldsymbol{r},t)}{8\pi}d\boldsymbol{r}+\int\limits_{V}\frac{H^2(\boldsymbol{r},t)}{8\pi}d\boldsymbol{r}=\int\limits_{V}\frac{E^2(\boldsymbol{r},t)}{4\pi}d\boldsymbol{r}.$$

Здесь учтено, что у плоских электромагнитных волн энергии, приходящиеся на электрическую и магнитную компоненты, равны между собой. Будем считать, что электромагнитное поле занимает куб с ребром L и объёмом $V=L^3$. На границах куба используем периодические граничные условия $exp(ik_xL)=exp(ik_yL)=exp(ik_zL)=1$. В таком случае, используя (2) и (3), получаем:

$$E=\sum_{\mathbf{k}\lambda}\frac{V\omega_k^2}{4\pi c^2}\gamma_k^2\left(\alpha_{\mathbf{k}\lambda}^{*}\alpha_{\mathbf{k}\lambda}+\alpha_{\mathbf{k}\lambda}\alpha_{\mathbf{k}\lambda}^{*}\right),\ \omega_k=ck.\quad(9)$$

Такая форма записи энергии подчёркивает её вещественность. Переход к бесконечному объёму осуществляется процедурой $V\to\infty$. Сопоставление выражений (6) и (9) указывает на то, что при процедуре квантования надлежит провести замену

$$\begin{gathered}\gamma_k\to\sqrt{\frac{2\pi\hbar c^2}{\omega_k V}},\ \alpha_{\mathbf{k}\lambda}\to\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}+\frac{\partial}{\partial\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}}\right),\\ \alpha_{\mathbf{k}\lambda}^{*}\to\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}^{+}=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}-\frac{\partial}{\partial\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}}\right).\end{gathered}\quad(10)$$

При этом векторный потенциал (3) и полная энергия поля (9) заменяются операторными выражениями

$$\begin{gathered}\hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)=\sum_{\mathbf{k}\lambda}e_{\mathbf{k}\lambda}^{\nu}\gamma_k\left(\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}{}^{i\mathbf{kr}-ikct}+\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}^{+}e^{-i\mathbf{kr}+ikct}\right),\\ \hat{H}=\sum_{\mathbf{k}\lambda}\frac{\hbar\omega_k}{2}\left(\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}^{+}\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}+\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}\hat{\alpha}_{\mathbf{k}\lambda}^{+}\right).\end{gathered}\quad(11)$$

Вид уравнения Шрёдингера, содержащего этот оператор $\hat{H}$ (гамильтониан), был привёден выше: $\hat{H}\psi(\varsigma)=E\psi(\varsigma)$. Решением этого уравнения является произведение функций

$$\varphi(\varsigma|\boldsymbol{N}) = \prod_{\boldsymbol{k}\lambda} \varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda}),$$

$$E_{\boldsymbol{k}\lambda} = \hbar\omega_k \left(n_{\boldsymbol{k}\lambda} + \frac{1}{2} \right),\ E = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} E_{\boldsymbol{k}\lambda}.$$

Здесь многомерный вектор ς означает набор аргументов $\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}$ с различными $(\boldsymbol{k},\lambda)$, многомерный вектор $\mathbf{N}$ означает набор чисел $n_{\mathbf{k}\lambda}$. Функция $\varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda})$ удовлетворяет уравнению

$$\frac{\hbar\omega_k}{2}\left(\hat{\alpha}^+_{\boldsymbol{k}\lambda}\hat{\alpha}_{\boldsymbol{k}\lambda} + \hat{\alpha}_{\boldsymbol{k}\lambda}\hat{\alpha}^+_{\boldsymbol{k}\lambda}\right)\varphi(\varphi_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda}) = E_{\boldsymbol{k}\lambda}\varphi(\varphi_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda}).$$

Каждому решению $\varphi(\varphi_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda})$ отвечает энергия $E_{\boldsymbol{k}\lambda} = \hbar\omega_k(n_{\boldsymbol{k}\lambda} + 1/2)$. Поскольку нас всегда интересует разность энергий

$$E - \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} \hbar\omega_k / 2 = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} \hbar\omega_k n_{\boldsymbol{k}\lambda}, \tag{12}$$

то на сумму $\sum_{\boldsymbol{k}\lambda} \hbar\omega_k / 2$ можно не обращать внимания. Сумма в левой части равенства (12) представляет собой энергию полного электромагнитного поля, отвечающую конкретному набору чисел $n_{\boldsymbol{k}\lambda}$, то есть конкретному набору фотонов, каждый из которых обладает энергией $\hbar\omega_k$. Таким образом, $n_{\boldsymbol{k}\lambda}$ означает число фотонов в моде $(\boldsymbol{k},\lambda)$.

Итак, фотоном $(n_{\boldsymbol{k}\lambda} = 1)$ моды $(\boldsymbol{k},\lambda)$ называется такое состояние электромагнитного поля, которому отвечает волновая функция

$$\begin{aligned}\varphi(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}|1) &= H_1(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda})\exp\left(-\varsigma^2_{\mathbf{k}\lambda}/2\right) = \\ &= \sqrt{2}\pi^{-1/4}\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}\exp\left(-\varsigma^2_{\mathbf{k}\lambda}/2\right).\end{aligned} \tag{13}$$

Это и есть ответ на вопрос, вынесенный в заглавие статьи. В неограниченном пространстве такие состояния в чистом виде существовать не могут, так же как в классической физике не могут существовать строго монохроматические волны. Это невозможно просто потому, что монохроматические волны не имеют границ. Но исследование их свойств чрезвычайно плодотворно, поскольку любое реально существующее электромагнитное поле может быть представлено в виде их суперпозиции. Таким же свойством обладают фотонные состояния. Из них, как из кирпичиков, может быть построено любое реально существующее состояние поля.

Чтобы понять физический смысл функции (13), необходимо выяснить физический смысл аргументов $\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}$. Процедура квантования поля в соответствии с (10) требует замены

$$\begin{aligned}\frac{\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} + \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\sqrt{2}} &= \frac{A_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\gamma_k\sqrt{2}}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \to \varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}, \\ \frac{\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} - \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\sqrt{2}} &= i\frac{A_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\gamma_k\sqrt{2}}\sin\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \to \frac{\partial}{\partial\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}}.\end{aligned} \tag{14}$$

Аргумент волновой функции $\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}$ отвечает «классической» величине $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}$. Слово «классический» мы берём в кавычки, поскольку γ_k содержит $\hbar$. Разумеется, можно было бы использовать запись $\varphi\left(A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}|n_{\boldsymbol{k}\lambda}\right)$, но это неудобно, поэтому пишут $\varphi(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}|n_{\mathbf{k}\lambda})$. Согласно квантовым принципам, конструкция $\left|\varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}|n_{\boldsymbol{k}\lambda})\right|^2 d\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}$ определяет вероятность обнаружения аргумента $\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}$ (или «классической» конструкции $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}$) в интервале $d\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}$, если такой эксперимент будет поставлен. Таким образом, находится функция распределения «классической» переменной $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}$.

Рассмотрим преобразование Фурье (индексы $\boldsymbol{k}$, λ опускаем)

$$\varphi(\varsigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} e^{i\eta\varsigma}\tilde{\varphi}(\eta)d\eta\ \ \tilde{\varphi}(\eta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\eta\varsigma}\varphi(\varsigma)d\varsigma.$$

Из свойств преобразования Фурье следует, что этой процедуре сопутствуют замены

$$\varphi(\varsigma) \leftrightarrow \tilde{\varphi}(\eta),\ \varsigma \leftrightarrow i\frac{\partial}{\partial\eta},\ \ -i\frac{\partial}{\partial\varsigma} \leftrightarrow \eta.$$

Следовательно, вместо (14) правилами квантования электромагнитного поля могут служить следующие:

$$\begin{aligned}\frac{\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} + \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\sqrt{2}} &= \frac{A_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\gamma_k\sqrt{2}}\cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \to i\frac{\partial}{\partial\eta_{\boldsymbol{k}\lambda}}, \\ \frac{\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} - \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\sqrt{2}} &= i\frac{A_{\boldsymbol{k}\lambda}}{\gamma_k\sqrt{2}}\sin\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \to i\eta_{\boldsymbol{k}\lambda}.\end{aligned} \tag{15}$$

Таким образом, аргументу функции $\tilde{\varphi}(\eta_{\mathbf{k}\lambda})$ отвечает классическая величина $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\sin\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}$. Конструкция $\left|\tilde{\varphi}(\eta_{\boldsymbol{k}\lambda})\right|^2$ определяет распределение вероятности «классической» величины $A_{\boldsymbol{k}\lambda}\sin\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}/\gamma_k\sqrt{2}$. Поскольку функция $\tilde{\varphi}(\eta_{\boldsymbol{k}\lambda})$ получают из $\varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda})$ при помощи преобразования Фурье, то согласно (13)

$$\tilde{\varphi}(\eta_{\mathbf{k}\lambda}|1) = i\sqrt{2}\pi^{-1/4}\eta_{\mathbf{k}\lambda}\exp\left(-\eta^2_{\mathbf{k}\lambda}/2\right).$$

Итак, для однофотонных состояний имеем:

$$\left|\varphi(\varsigma_{\mathbf{k}\lambda}|1)\right|^2 = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\varsigma^2_{\mathbf{k}\lambda}\exp\left(-\varsigma^2_{\mathbf{k}\lambda}\right),$$

$$\left|\tilde{\varphi}(\eta_{\mathbf{k}\lambda}|1)\right|^2 = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\eta^2_{\mathbf{k}\lambda}\exp\left(-\eta^2_{\mathbf{k}\lambda}\right).$$

Это чётные функции своих аргументов, поэтому квантовые средние

$$\langle \varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle = \langle \eta_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda} \left| \varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda}) \right|^2 d\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda} = \int_{-\infty}^{\infty} \eta_{\boldsymbol{k}\lambda} \left| \tilde{\varphi}(\eta_{\boldsymbol{k}\lambda}) \right|^2 d\eta_{\boldsymbol{k}\lambda} = 0$$

обращаются в ноль. Другими словами, в однофотонных состояниях квантовые средние

$$\langle A_{\boldsymbol{k}\lambda} cos\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle = \langle A_{\boldsymbol{k}\lambda} \sin\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle = 0$$

обращаются в ноль. По этой причине классическими параметрами $A_{\boldsymbol{k}\lambda}$ и $\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}$ такие однофотонные состояния описаны быть не могут. Подчеркнём отдельно и ещё раз, что однофотонные состояния электромагнитного поля классическими атрибутами, такими как амплитуда $A_{\boldsymbol{k}\lambda}$ и фаза $\vartheta_{\boldsymbol{k}\lambda}$, не обладают.

Но такое свойство присуще не только однофотонным состояниям, но и любым состояниям с точно определённым числом фотонов (фоковские состояния). Действительно, при усреднении по любому состоянию, определяемому функцией $\varphi(\varsigma_{\boldsymbol{k}\lambda} | n_{\boldsymbol{k}\lambda})$, квантовое среднее векторного потенциала (11)

$$\left\langle \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \right\rangle = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda} \gamma_k \left(\langle \hat{\alpha}_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle e^{i\boldsymbol{kr}-ikct} + \langle \hat{\alpha}^{+}_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle e^{-i\boldsymbol{kr}+ikct} \right) = 0$$

обращается в ноль, что следует из соотношений (8). Но квантовые средние $\left\langle \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \right\rangle$ могут не обращаться в ноль, если мы имеем дело с суперпозицией волновых функций с различными числами $n_{\boldsymbol{k}\lambda}$. Именно среди таких суперпозиций надо искать волновую функцию, описывающую квантовое состояние, наиболее близко аппроксимирующее классическое поле. Такой суперпозицией является (вновь опускаем индексы $\boldsymbol{k}$, λ):

$$\varphi(\varsigma|\alpha) = e^{-\frac{|\alpha|^2}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}} \varphi(\varsigma|n),$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(\varsigma|\alpha) \varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma = 1,$$

где α – любое число. Принято говорить, что эта суперпозиция описывает «квантовое когерентное» состояние. Нетрудно видеть, что $\hat{\alpha}\varphi(\varsigma|\alpha) = \alpha\varphi(\varsigma|\alpha)$. Если оператор $\hat{\alpha}$ расписать в явном виде (10), то получается уравнение

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\varsigma + \frac{\partial}{\partial \varsigma} \right) \varphi(\varsigma|\alpha) = \alpha\varphi(\varsigma|\alpha),$$

решением которого служит функция

$$\varphi(\varsigma|\alpha) = \pi^{-1/4} \exp\left[-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{4} + \sqrt{2}\alpha\varsigma - \frac{1}{2}\varsigma^2 \right]. \qquad (16)$$

При работе с квантовыми когерентными состояниями оказывается полезным следующий интеграл:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\delta\varsigma - \beta\varsigma^2\right) d\varsigma = \sqrt{\frac{\pi}{\beta}} \exp\left(\frac{\delta^2}{4\beta}\right).$$

Теперь ясно, что $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(\varsigma|\alpha)\varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma = 1$.

Воспользуемся преобразованием Фурье

$$\tilde{\varphi}(\eta|\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\eta\varsigma} \varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma =$$
$$= \pi^{-1/4} \exp\left[-\frac{(\alpha+\alpha^*)^2}{4} + \alpha^2 - i\sqrt{2}\alpha\eta - \frac{1}{2}\eta^2 \right]. \qquad (17)$$

Из (16) и (17) следует, что

$$\left|\varphi(\varsigma|\alpha)\right|^2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\varsigma - \frac{\alpha+\alpha^*}{\sqrt{2}} \right)^2 \right],$$
$$\left|\tilde{\varphi}(\eta|\alpha)\right|^2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\eta - \frac{\alpha-\alpha^*}{i\sqrt{2}} \right)^2 \right]. \qquad (18)$$

Если воспользоваться представлениями $\alpha = |\alpha|\exp(i\vartheta)$ и $\alpha^* = |\alpha|\exp(-i\vartheta)$, то для наивероятнейших значений ς_{ex} и η_{ex} согласно (14) и (15) будем иметь:

$$\varsigma_{ex} = \left(A\cos\vartheta / \gamma_k\sqrt{2} \right)_{ex} = \frac{\alpha+\alpha^*}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}|\alpha|\cos\vartheta,$$
$$\eta_{ex} = \left(A\sin\vartheta / \gamma_k\sqrt{2} \right)_{ex} = \frac{\alpha-\alpha^*}{i\sqrt{2}} = \sqrt{2}|\alpha|\sin\vartheta.$$

При $2\gamma_k|\alpha| = A$ из этих соотношений следуют выражения, справедливые для классических волн.

Далее нам понадобится вспомогательное равенство

$$\langle n \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(\varsigma|\alpha)\hat{\alpha}^+\hat{\alpha}\varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma =$$
$$= \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \varphi^*(\varsigma|\alpha)\hat{\alpha}^+\varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma =$$
$$= \alpha \int_{-\infty}^{\infty} \hat{\alpha}\varphi^*(\varsigma|\alpha)\, \varphi(\varsigma|\alpha) d\varsigma = \alpha\alpha^*.$$

Поскольку усреднение по когерентным состояниям даёт

$$\left\langle \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \right\rangle = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda} \gamma_k \left(\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{i\boldsymbol{kr}-ikct} + \alpha^*_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{-i\boldsymbol{kr}+ikct} \right),$$

$$\left\langle E^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \right\rangle = -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t} \left\langle E^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \right\rangle = \sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e^{\nu}_{\boldsymbol{k}\lambda} E_{\boldsymbol{k}\lambda} \sin\left(\boldsymbol{kr} - kct + \vartheta\right),$$

$$E_{\boldsymbol{k}\lambda} = -2\sqrt{\frac{2\pi\hbar\omega_k}{V}}\left|\alpha_{\boldsymbol{k}\lambda}\right|,$$

то для этих состояний с учётом вспомогательного равенства, записанного в виде $|\alpha| = \sqrt{\langle n \rangle}$, находим $E_{\boldsymbol{k}\lambda}^2 V / 8\pi = \hbar\omega_k \langle n_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle$. Вводя понятие действующей амплитуды поля $\bar{E}_{\boldsymbol{k}\lambda} = E_{\boldsymbol{k}\lambda} / \sqrt{2}$, приходим к выводу: $\bar{E}_{\boldsymbol{k}\lambda}^2 V / 4\pi = \hbar\omega_k \langle n_{\boldsymbol{k}\lambda} \rangle$. Итак, если электромагнитная волна находится в квантовом когерентном состоянии, то точно фиксированным числом фотонов она не обладает, а её энергию можно вычислять как по квантовой формуле, так и по классической.

Как квантовые средние, так и наиболее вероятные параметры электромагнитного поля совпадают с их классическими аналогами, если свободное поле находится в квантовом когерентном состоянии. Но это не означает, что каждое измерение даст значения классических параметров. Согласно распределениям (18), возникнет разброс экспериментальных точек. Величина этого разброса определяется дисперсиями распределений (18), которые не зависят от амплитуд полей. По этой причине, если амплитуды велики, то дисперсиями можно пренебречь. В таком случае плоская электромагнитная волна, находящаяся в квантовом когерентном состоянии, хорошо описывается классической теорией. Но это ещё не означает, что результат взаимодействия таких волн со средой также всегда допускает классическое описание. Такой пример приводится ниже. Ещё раз подчеркнём, что значительная величина квантового когерентного поля сама по себе ещё недостаточна для использования классических уравнений Максвелла.

Нелишне заметить, что находящееся в фоковском состоянии поле при большом числе фотонов может обладать очень большой энергией и разрушительной силой, но классического описания такого поля не существует.

4. Взаимодействие электромагнитного поля со средой

Мы рассмотрим примеры, показывающие, что эволюция сколь угодно сильного и находящегося в квантовом когерентном состоянии $\langle \hat{A}(\boldsymbol{r},t) \rangle \neq 0$ электромагнитного поля может не подчиняться законам классической физики.

Рассмотрим систему, состоящую из взаимодействующих между собой возбуждённого атома и квантованного электромагнитного поля. Для простоты будем считать, что атом обладает одним валентным электроном и двумя энергетическими уровнями: основным и возбуждённым. Волновую функцию электрона в возбуждённом атоме обозначим через $\psi_{j_{ex}}(\boldsymbol{r})$, в невозбуждённом состоянии – через $\psi_{j_g}(\boldsymbol{r})$. Спиновыми эффектами пренебрежём.

Пусть на атом, находящийся в возбуждённом состоянии $\psi_{j_{ex}}(\boldsymbol{r})$, действует одномодовое $(k_0\lambda_0)$ излучение, находящееся в квантовом когерентном состоянии $\varphi(\varsigma\ |\alpha)$. В результате процесса рассеяния полная волновая функция системы атом+поле приобретает вид:

$$\Psi(t) = f_{j_{ex}}(t)\psi_{j_{ex}}(\boldsymbol{r}) + f_{j_g}(t)\psi_{j_g}(\boldsymbol{r}). \tag{19}$$

Функция $f_{ex}(t)$ описывает когерентный канал рассеяния, в результате которого рассеивающий атом остаётся в исходном возбуждённом состоянии. Функция $f_g(t)$ описывает канал рассеяния, в результате которого атом меняет своё состояние на невозбуждённое. Этот канал будем называть некогерентным. Поскольку в исходном состоянии электромагнитное поле обладает «квантовым средним» значением амплитуды $\langle \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \rangle$, то и после рассеяния эта конструкция не обратится в ноль. Ниже вместо оператора $\hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ будем пользоваться оператором напряжённости электрического поля

$$\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{k},t) = -\frac{1}{c}\frac{\partial \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)}{\partial t} = i\sum_{\boldsymbol{k}\lambda} e_{\boldsymbol{k}\lambda}^{\nu} k\gamma_k \left(\hat{\alpha}_{\boldsymbol{k}\lambda}{}^{i\boldsymbol{kr}-ikct} - \hat{\alpha}_{\boldsymbol{k}\lambda}^{+} e^{-i\boldsymbol{kr}+ikct}\right).$$

«Квантовое среднее» напряжённости электрического поля после рассеяния вычисляется по стандартному правилу:

$$\begin{aligned} \langle \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) \rangle &= \langle \Psi | \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | \Psi \rangle = \\ &= \langle f_{ex}\psi_{j_{ex}} | \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | f_{ex}\psi_{j_{ex}} \rangle + \langle f_g\psi_{j_g} | \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | f_g\psi_{j_g} \rangle = \\ &= \langle f_{ex} | \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | f_{ex} \rangle + \langle f_g | \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | f_g \rangle = \\ &= E^{\nu(c)}(\boldsymbol{r},t) + E^{\nu(n)}(\boldsymbol{r},t). \end{aligned} \tag{20}$$

Здесь явно указана описываемая выражением (19) функция $\Psi(t)$, по которой производится квантовое усреднение, и принято во внимание, что оператор $\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)$ не изменяет взаимно ортогональные $\langle \psi_j | \psi_{j'} \rangle = \int \psi_j^*(\boldsymbol{r})\psi_{j'}(\boldsymbol{r}) = \delta_{jj'}$ и нормированные на единицу волновые функции атомов. По этим причинам атомные функции выпадают из этой формулы, так же как выпадает интерференционный член $\langle f_{ex}\psi_{j_{ex}} | \hat{A}^{\nu}(\boldsymbol{r},t) | f_g\psi_{j_g} \rangle = 0$. Важно отметить, что интерференционный член обращается в ноль из-за свойств ортогональности атомных функций, что исключает «квантовые интерференционные члены» электромагнитного поля. Классическая физика таким свойством не обладает. Будем говорить, что когерентный и некогерентный каналы рассеяния между собой квантово некогерентны. Но классическая когерентность в виде суммирования амплитуд согласно (20) сохраняется. Из когерентного канала рассеяния процессы вынужденного излучения, меняющие состояние рассеивателя, выпадают. Таким образом, следует различать два вида когерентности: «квантовую», зависящую от фаз полной волновой функции системы, и «классическую», определяемую фазами усреднённых амплитуд поля. При процессе усреднения квантовые фазы исчезают.

Пусть теперь нас интересуют энергетические характеристики рассеянного поля, описываемые «квантовыми средними» от билинейных комбинаций полевых операторов

$$\left\langle \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\right\rangle = \left\langle \Psi\left|\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\right|\Psi\right\rangle =$$

$$= \left\langle f_{ex}\psi_{j_{ex}}\left|\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\right|f_{ex}\psi_{j_{ex}}\right\rangle + \qquad (21)$$

$$+\left\langle f_{g}\psi_{j_{g}}\left|\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\right|f_{g}\psi_{j_{g}}\right\rangle.$$

Здесь вновь и по той же причине отсутствует перекрёстное слагаемое. Оба слагаемых здесь положительно определены. Таким образом, энергетические характеристики рассеянного поля определяются независимо двумя каналами реакции и затем алгебраически складываются. Согласно (21), интерференции между каналами нет. Очень важно отметить, что нет интерференции и между содержащимися в некогерентном канале процессами вынужденного излучения и процессами рассеяния, не меняющими состояние атомной системы. В этом смысле некогерентные свойства вынужденных процессов, что редко оговаривается, могут существенно менять макроскопическую картину рассеянного поля.

Оценку усреднённых билинейных конструкций (21) удобно выполнить с помощью известного неравенства

$$\left\langle \hat{B}\hat{B}\right\rangle \gg \left\langle \hat{B}\hat{B}\right\rangle\left\langle \hat{B}\hat{B}\right\rangle,$$

справедливого для любых операторов и любой процедуры усреднения. Применяя это неравенство к обоим слагаемым равенства (21), получаем оценку снизу для исследуемой конструкции

$$\left\langle \hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\hat{E}^{\nu}(\boldsymbol{r},t)\right\rangle \gg E^{\nu(c)}(\boldsymbol{r},t)E^{\nu(c)}(\boldsymbol{r},t) + \qquad (22)$$

$$+E^{\nu(n)}(\boldsymbol{r},t)E^{\nu(n)}(\boldsymbol{r},t).$$

Только если некогерентный канал (и процессы вынужденного излучения) отсутствует или по каким-либо причинам отсутствует когерентный канал рассеяния, энергия рассеянного электромагнитного поля определяется квадратом амплитуды рассеяния, что напоминает равенство, присущее классическим полям. Другими словами, классическая физика может корректно описать процесс рассеяния резонансного излучения лишь в исключительных случаях. В общем случае, если рассеиваемое излучение почти классическое и находится в квантовом когерентном состоянии, то рассеянное излучение это свойство теряет. Согласно (22), энергия рассеянного излучения состоит из двух слагаемых, определяемых разными каналами рассеяния. Энергетические характеристики этих каналов складываются. «Квантовое когерентное» состояние таким свойством не обладает. Можно сказать, что в рассеянном излучении наряду с квантовой когерентной компонентой возникает «фоковская» компонента. Величина «фоковской» компоненты может достигать ста процентов от общего излучения. Такое излучение в представлениях классической физики описано быть не может. Так обстоит дело и при френелевском отражении резонансного излучения от возбуждённых сред [6]. Говорят, что в этих случаях мы имеем дело с расхождением предсказаний классической и квантовой физики на макроскопическом уровне.

5. Заключение

Обратим внимание на равенство

$$\varphi\left(\varsigma\middle|\alpha\right) = \pi^{-1/4}\exp\left[-\frac{\left(\alpha+\alpha^{*}\right)^{2}}{4}+\sqrt{2}\alpha\varsigma-\frac{1}{2}\varsigma^{2}\right] =$$

$$= e^{-\frac{|\alpha|^{2}}{2}}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\alpha^{n}}{\sqrt{n!}}\varphi\left(\varsigma\middle|n\right),$$

указывающее, что наиболее близкое к классическим представлениям «квантовое когерентное» состояние электромагнитного поля может быть представлено в виде суммы фотонных (фоковских) состояний, не имеющих классических аналогов. Это «квантовое когерентное» состояние словесно может быть описано с помощью понятий «амплитуда», «фаза» и «дисперсия» этих величин, тогда как фотонные (фоковские) состояния этими атрибутами не обладают. В фоковских состояниях мы используем понятие «фотон». Существует и обратное соотношение [7]:

$$\varphi\left(\varsigma\middle|n\right) = \frac{1}{\pi}\iint\frac{\alpha^{*n}}{\sqrt{n!}}e^{-\frac{1}{2}|\alpha|^{2}}\varphi\left(\varsigma\middle|\alpha\right)d^{2}\alpha,\ d^{2}\alpha =$$

$$= d\left(Re\alpha\right)d\left(Im\alpha\right),$$

указывающее, что фотонные (фоковские) состояния, не обладающие понятиями «фаза» и «амплитуда», представимы в виде суперпозиции «квантовых когерентных» состояний, этими понятиями характеризуемых. Принято говорить, что мы решаем задачу в фотонном (фоковском) или в когерентном представлении. Таким образом, объективной характеристикой электромагнитного поля является его состояние, описываемое волновой функцией. В зависимости от выбранного нами математического представления, конкретный вид этой функции может быть сильно различным. Она может быть представлена в виде ряда, как по функциям $\varphi\left(\varsigma\middle|\alpha\right)$, так и по функциям $\varphi\left(\varsigma\middle|n\right)$.

Такие атрибуты, как амплитуда, фаза и число фотонов, присущи конкретным представлениям и не являются инвариантами относительно зависящего от нас выбора представления. В этом смысле эти атрибуты не следует абсолютизировать и придавать им универсальный смысл.

Необходимость квантования электромагнитного поля следует как из логических соображений, так и из различия результатов расчётов квантованных и классических полей, что качественно продемонстрировано выше на избранных примерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *де Бройль Л.* Волны и кванты. Избранные научные труды. Том 1. – М: Логос, 2010.

2. *Гринштейн Дж., Зайонц А.* Квантовый вызов (Современные исследования оснований квантовой механики). – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2012.

3. *Лоуден Р.* Квантовая теория света. – М.: МИР, 1976.

4. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. – М.: Наука, 1988.

5. *Гайтлер В.* Квантовая теория излучения. – М.: ИИЛ, 1956.

6. *Векленко Б.А.* Нарушение формул Френеля при отражении резонансного излучения от возбуждённых сред // Прикладная физика. – 2011. – № 1. – С. 5–14.

7. *Клаудер Дж., Сударшан Э.* Основы квантовой оптики. – М.: МИР, 1970.

Векленко Борис Александрович, *доктор физико-математических наук, профессор главный научный сотрудник ОИВТ РАН. Окончил МЭИ в 1955. Защитил докторскую диссертацию в 1991. В настоящее время работает над проблемами квантовой теории излучения.*

Уважаемые читатели!

Приглашаем Вас принять участие в ***28-й Международной конференции по компьютерной графике, обработке изображений и машинному зрению, системам визуализации и виртуального окружения GraphiCon2018***, которая состоится ***24-27 сентября 2018*** года на базе “Национального исследовательского Томского политехнического университета”.

ГРАФИКОН 2018

Секции конференции

- Геометрическое моделирование. Компьютерная графика в образовании
- Обработка и анализ биомедицинских изображений
- Научная визуализация и визуальная аналитика
- Цифровая Земля и Большие Данные
- Компьютерная графика и Дизайн
- Реалистичная графика
- Компьютерное зрение
- Оптический дизайн

Впервые программа мероприятия дополнена молодежной сессией, в рамках которой будут заслушаны доклады студентов и аспирантов, а также будет проведен форум, включающий мастер-классы, по организации научной, научно-технической и инновационной деятельности, лекции и презентации о лучших российских и зарубежных практиках, продвижении и популяризации научных достижений. Участие в форуме молодежной сессии поможет молодым ученым найти единомышленников и получить адресную поддержку в виде рекомендации к участию в фондовых программах.

Все участники форума получат сертификаты о повышении квалификации. Лучшие доклады среди участников молодежной сессии будут отмечены дипломами и опубликованы.

Тезисы всех участников будут опубликованы в сборнике трудов конференции (РИНЦ).

Лучшие доклады ученых будут опубликованы в виде полнотекстовых статей в 4 научных изданиях, индексируемых в б/д Scopus.

При регистрации участия до 01.03.2018г. необходимо указать тему доклада и авторов. Тезисы доклада возможно загрузить отдельно в более поздние сроки (до 15.05.2018г.)

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Важная информация

Сайт конференции: 2018.graphicon.ru
Регистрация на сайте: до 01.03.2018г.
Подача тезисов докладов: до 15.05.2018г.

E-mail для связи: 2018@graphicon.ru
Телефон для справок: +7 (3822) 60-61-29

Состояние и перспективы развития дорожного освещения[1]

С.БОЗОРГ ЧЕНАНИ[1], Р.-С. РЯСЯНЕН[1], Е. ТЕТРИ[2,3]

[1]Университет Аалто, Эспо, Финляндия
[2] Эксперт в области освещения, Эспо, Финляндия
[3] E-mail: eino.tetri@gmail.com

Аннотация

Дорожное освещение находится на пороге самых значимых с момента его первой реализации изменений. Совокупность достижений в области технических средств дорожного освещения и способов их применения может привести к изменению концепции дорожного освещения. Согласно большинству оценок, светодиоды (СД) являются наиболее эффективными источниками света из всех, которые могут использоваться в дорожном освещении. На данный момент, при замене светильников с натриевыми лампами высокого давления на светильники с СД экономия энергии составляет 1/3, а в будущем, по мере усовершенствования изделий с СД, она возрастёт до 2/3, тогда как теоретически экономия может достичь 83 %. Экономия энергии может быть обеспечена благодаря изменению подхода к освещению, подразумевающему использование интеллектуальных систем управления дорожным освещением, которые позволяют уменьшить продолжительность работы осветительных установок. В основу интеллектуального управления дорожным освещением могут быть положены такие параметры, как интенсивность движения, уровень естественного освещения, состояние дороги и погодные условия. При этом управление можно сделать более динамичным, учитывающим совокупное действие дорожного освещения и света фар автомобилей. Можно ожидать, что широкое внедрение новой прогрессивной техники приведёт к увеличению экологической безопасности освещения.

Ключевые слова: энергоэффективность, светодиод, СД, источник света, безопасность дорожного движения, дорожное освещение, экологическая безопасность.

1. Введение

Дорожное освещение имеет большое значение для всех участников дорожного движения, позволяя замечать препятствия, заранее принимать решения и избегать дорожно-транспортных происшествий (ДТП). В то же время, всё труднее игнорировать связанные с дорожным освещением вопросы потребления и стоимости электроэнергии. По оценкам Международного энергетического агентства, в 2005 г. 19 % от общемирового потребления электроэнергии приходилось на освещение, причём на дорожное освещение было затрачено 218 ТВт·ч, что составляет примерно 8 % от расходуемой на освещение энергии [1].

Затраты на электроэнергию могут быть уменьшены в результате совершенствования техники и изменения организации освещения, позволяющих реализовать интеллектуальное дорожное освещение. Освещение перешло от газовых светильников к лампам накаливания, а затем к люминесцентным лампам, ртутным лампам высокого давления (ДРЛ), натриевым лампам низкого давления (НЛНД), натриевым лампам высокого давления (НЛВД), металлогалогенным лампам (МГЛ) и, наконец, к новым источникам света – светодиодам (СД). Это прогресс привёл к улучшению эффективности и экономичности источников света, равно как и к увеличению их сроков службы, улучшению их цветовых характеристик, появлению возможности светорегулирования и уменьшению времени разгорания и перезажигания используемых в дорожном освещении осветительных приборов [2].

Очевидно, что энергоэффективность играет важную роль в модернизации дорожного освещения. Однако имеются и дополнительные возможности в части уменьшения энергопотребления, связанные с изменением организации дорожного освещения (на основе систем интеллектуального дорожного освещения) и регулированием дорожного освещения там и тогда, где и когда это нужно, исходя из сиюминутной потребности в освещении.

Переход к новым техническим средствам дорожного освещения и новым способам их применения предоставляет целый ряд преимуществ, таких как уменьшение количества и стоимости потребляемой электроэнергии, сокращение затрат на техническое обслуживание и возможность реализации более экологически безопасных решений. Однако при принятии каких бы то ни было решений относительно капиталовложений в дорожное освещение или использования интеллектуальных устройств управления, необходимо всегда помнить о назначении дорожного освещения. Основной задачей дорожного освещения является обеспечение безопасности посредством улучшения видимости источников опасности и уменьшения воздействия блёскости, создаваемой наблюдаемыми источниками света [3]. Многочисленные исследования показали, что дорожное освещение способно уменьшить количество ДТП [5, 6], и поэтому чрезвычайно важно иметь представление о происходящих в дорожном освещении изменениях.

В основу данной работы положена статья Тетри и др. [2], в которой авторы затрагивали многие вопросы и рассматривали самые разные связанные с дорожным освещением моменты, такие как сумеречное зрение, видимость, безопасность и трёхмерное моделирование световой среды, тогда как в данной статье, которая посвящена, главным образом, техническим средствам дорожного освещения, безопасности дорожного движения и экологии, рассмотрены влияние освещения на безопасность дорожного движения, преимущества от использования СД и экологические последствия совершенствования дорожного освещения. При этом в основу описания изменений в области дорожного освещения и обсуждения перспективного подхода к дорожному освещению положены последние технические достижения.

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

2. Безопасность дорожного движения

Согласно Всемирной организации здравоохранения, в 2015 г. в ДТП погибли более чем 1,2 млн человек, что делает ДТП одной из 10 основных причин смертности в мире [7]. В целом, причины ДТП связаны с людьми (57 %), дорогами (3 %) и транспортными средствами (3 %), а остальное приходится на их совокупное действие [8].

Однако попытки изучения влияния на ДТП какого-то одного фактора, например, дорожного освещения, связаны с определёнными трудностями. Во-первых, на ДТП влияют многочисленные взаимосвязанные факторы, что затрудняет выделение именно дорожного освещения [8]. Во-вторых, до и после организации дорожного освещения водители ведут себя по-разному. Например, в [9] исследовалось изменение поведения норвежских водителей в части скорости и концентрации внимания после организации дорожного освещения. В результате появления дорожного освещения увеличилось количество пожилых водителей, возросла скорость движения и явно уменьшилась концентрация внимания. В результате эти взаимосвязанные факторы отрицательно сказались на точности оценки влияния дорожного освещения на ДТП [9]. Для количественной оценки влияния дорожного освещения на ДТП было проведено сравнение данных о ДТП, имевших место или там, где дорожное освещение раньше отсутствовало, а потом появилось, или там, где дорожное освещение было усовершенствовано. Это можно сделать при помощи отношения шансов, которое служит для количественной оценки влияния дорожного освещения на ДТП:

$$\text{Отношение шансов} = \frac{\text{Кол-во ДТП на освещённых дорогах в тёмное время суток}}{\text{Кол-во ДТП на неосвещённых дорогах в тёмное время суток}} \div \frac{\text{Кол-во ДТП на освещённых дорогах в светлое время суток}}{\text{Кол-во ДТП на неосвещённых дорогах в светлое время суток}}. \quad (1)$$

Дорожное освещение было идентифицировано как фактор, влияющий на количество ДТП, и многочисленные исследования показали, что оно может привести к уменьшению количества ДТП в тёмное время суток (например, [4, 6, 10]). Хорошим примером является исследование, проведённое Международной комиссией по освещению (МКО), которая установила, что дорожное освещение уменьшает количество ДТП в среднем на 30 % [4].

Непрерывно расширяющееся использование интеллектуального освещения [2, 9] стимулировало проведение исследований влияния качества освещения на количество ДТП [12–14], тогда как в [15] было показано, что в настоящее время дорожное освещение обычно характеризуется избыточным уровнем освещения, причём повышенный уровень освещения не обязательно увеличивает безопасность дорожного движения. В [15] связь между уровнем и качеством освещения и количеством ДТП оценивалась исходя из соотношения количества столкновений автомобилей в ночное и дневное время. В результате был сделан вывод, что в настоящее время дороги освещены слишком сильно, и имеется возможность для уменьшения уровней освещения городских магистралей на вплоть до 50 %. В [16] исследовали влияние уменьшения уровня освещения на безопасность дорожного движения и предупреждение преступлений, причём полученные результаты не содержат никаких доказательств того, что выключение света, освещение на протяжении только части тёмного времени суток и уменьшение уровня освещения как-то связаны с количеством ДТП в тёмное время суток. Кроме того, не было никаких свидетельств повышения уровня преступности в этих условиях в тёмное время суток. Так что возможность регулирования дорожного освещения без отрицательных последствий для безопасности дорожного движения подтверждена результатами проведённых исследований.

3. Осветительная техника

3.1. Изменения, произошедшие в осветительной технике

По оценкам Международного энергетического агентства, в 2005 г. 62 % наружного освещения обеспечивали НЛВД и НЛНД, 30 % – ДРЛ, 6 % – МГЛ, а оставшиеся 2 % – главным образом, лампы накаливания и галогенные лампы накаливания [1].

НЛВД, ДРЛ и МГЛ вместе известны как разрядные лампы высокого давления (РЛВД). В лампах этого типа свет генерирует дуговой разряд. РЛВД каждого типа генерируют свет, характерный для металла, в парах которого происходит дуговой разряд. РЛВД имеют падающую вольт-амперную характеристику и, тем самым, нуждаются в ограничивающем ток устройстве, которым обычно служит пускорегулирующий аппарат. Кроме того, они нуждаются в зажигающих устройствах. Время их разгорания до достижения установившегося значения светового потока обычно составляет несколько минут. Для повторного зажигания им часто требуется несколько минут на остывание. Световой поток НЛВД может быть уменьшен до примерно 50 % за счёт уменьшения питающего напряжения. Время групповой замены ДРЛ и НЛВД часто составляет 4 года, что соответствует равному 16000 ч сроку службы этих ламп. Сроки службы НЛНД и МГЛ обычно составляют 12000 ч. Наибольшую световую отдачу (150–170 лм/Вт) имеют НЛНД, тогда как световые отдачи НЛВД, ДРЛ и МГЛ составляют 80–150, 40–60 и 60–90 лм/Вт соответственно. Световая отдача зависит от мощности лампы и её индекса цветопередачи. Например, в случае НЛВД увеличение давления и температуры внутри колбы лампы приводит к увеличению индекса цветопередачи и цветовой температуры и, в то же время, к уменьшению световой отдачи.

Как отмечалось выше, световая отдача НЛВД может достигать 150 лм/Вт [17]. Однако при помещении лампы в светильник КПД светильника приводит к уменьшению результирующей световой отдачи. КПД светильников часто имеют довольно небольшую величину, что особенно верно в случае старых светильников [18]. С учётом КПД светильника и потерь в пускорегулирующем аппарате, световая отдача светильника часто составляет примерно 40 лм/Вт [19]. Сравнение характеристик ламп и светильников разных типов проведено на рис. 1.

В основе НЛВД лежит дуговой разряд, тогда как СД – это полупроводниковые приборы, длина волны излучения которых зависит от полупроводникового материала. В дорожном освещении обычно используются кристаллы, из-

лучающие синий свет, который затем частично преобразуется люминофорным покрытием в более длинноволновое излучение. В спектре СД отсутствует инфракрасное излучение, а выделяющееся в *p-n*-переходе избыточное тепло требуется отводить к радиатору [20]. Без соответствующего радиатора (или вентилятора) температура *p-n*-перехода возрастёт, что приведёт к уменьшению как светового потока, так и срока службы СД. В отличие от разрядных ламп, у СД отсутствуют занимающие несколько минут периоды разгорания и перезажигания. Световой поток формируется сразу же после включения, причём время его нарастания не превышает нескольких микросекунд [21], так что время нарастания светового потока не препятствует использованию СД в схемах с регулированием светового потока. При этом световой поток СД практически линейно зависит от потребляемой мощности, так что световая отдача СД остаётся высокой и в случае светорегулирования.

Светильники с СД очень долговечны, и по данным производителей их эксплуатационный срок службы может составлять от 50 до 100 тыс. ч. Световая отдача светильников с СД уже достигла 100 лм/Вт [22]. Однако в процессе эксплуатации может иметь место деградация полупроводникового материала и люминофорного покрытия, что приводит к уменьшению срока службы, особенно в условиях тёплого климата.

3.2. Управление освещением

В области управления дорожным освещением были достигнуты значительные успехи. Управление освещением можно осуществлять в режиме реального времени или в соответствии с составленным заранее алгоритмом. Последний вариант можно назвать интеллектуальным дорожным освещением [12]. Самая распространённая система управления содержит фотоэлектрические элементы, которые включают и выключают свет исходя из уровня естественного освещения. Благодаря своим дешевизне и надёжности, фотоэлектрические датчики могут использоваться как с отдельными светильниками, так и с группами светильников. В настоящее время наиболее широко используемые фотоэлектрические датчики имеют заводскую настройку на включение при уменьшении естественной освещённости на закате до уровня 70 лк и выключение при увеличении естественной освещённости на рассвете до уровня 35 лк. Однако этот рабочий диапазон можно изменить. По оценкам Общества специалистов в области освещения (*Institution of Lighting Professionals*) [23], если уровень освещённости, при котором следует включать или выключать освещение, уменьшить до 35 лк на закате и 16 лк на рассвете, то в год продолжительность работы освещения можно уменьшить на 50 ч (примерно 1–2 %). В случаях ламп старого типа, таких как НЛНД и ДРЛ, использовать эти пониженные уровни включения и выключения не рекомендуется. Как отмечалось выше, этим лампам требуется некоторое время на разогрев до момента выхода их световых потоков на рабочий уровень. Т.к. ДРЛ были запрещены регламентом Евросоюза [24], а имеющие другие характеристики светильники с СД уже готовы занять их место на рынке [2], то в настоящее время рассматривается использование фотоэлементов, включающих и выключающих освещение при 35 и 16 лк соответственно.

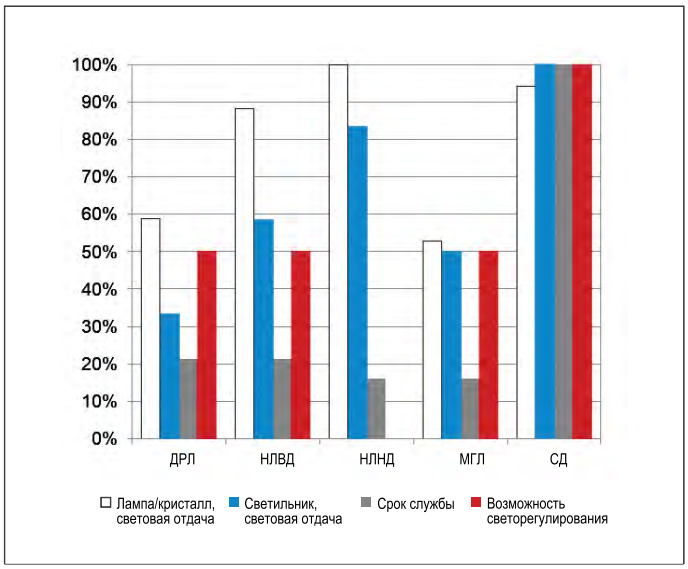


Рис. 1. Характеристики ламп и светильников разных типов. За 100 % приняты: для световой отдачи ламп – 170 лм/Вт (НЛНД), для световой отдачи светильников – 120 лм/Вт (СД), для срока службы – 75000 ч (СД), для возможности светорегулирования – 100 % (СД)

Возможности в части уменьшения уровня или продолжительности работы дорожного освещения или отключения освещения при отсутствии потребности в нём всё ещё не исчерпаны. Например, в периоды низкой интенсивности движения можно для экономии энергии отключать каждый второй светильник, что, однако, приводит к плохой равномерности яркости. Приемлемой альтернативой выключению каждого второго светильника может оказаться регулирование световых потоков светильников. Отслеживание уровня яркости поверхности дороги играет главную роль в регулировнии световых потоков установок дорожного освещения. При этом на уровень яркости поверхности дороги могут влиять самые разные факторы, такие как зависящие от погодных условий характеристики поверхности или наличие на дороге света фар автомобилей [12].

Погодные условия оказывают сильное влияние на яркость поверхности дороги. Равномерное снежное покрытие на дороге может привести к существенному увеличению яркости поверхности. Согласно [12], при этом яркость поверхности дороги может составить 150 % от своего значения при сухой погоде.

Фары автомобилей также могут существенно влиять на яркость поверхности дороги. Это было вкратце проиллюстрировано в [12], где отмечалось, что фары автомобилей увеличивали среднюю яркость поверхности дороги на 432 %.

Возможность быстрого регулирования световых потоков светильников с СД позволила начать разработку систем управления, реагирующих на перемещения отдельных участников дорожного движения. Такие системы могут полностью удовлетворить нормативным требованиям при наличии участников дорожного движения, одновременно обеспечивая высокий уровень светорегулирования и энергосбережения в остальное время. В этих случаях максимальный уровень светорегулирования зависит, главным образом, от его приемлемости для местных жителей. Например, в сельской местности приемлемо уменьшение светового потока до 15–30 % от номинального [13].

3.3. Фары автомобилей

Переход от традиционного дорожного освещения на освещение светодиодами принесёт, конечно, большую пользу, однако имеется ещё одна возможность уменьшения энергопотребления и соответствующих затрат без негативных последствий для безопасности дорожного движения. Кроме дорожного освещения, у водителей есть ещё и свет фар автомобилей. При этом дорожное освещение и свет фар не дополняют друг друга [25–27]. Если дорожное освещение обеспечивает освещение горизонтальной поверхности дороги, то фары автомобилей освещают находящиеся на дороге вертикальные объекты, и одновременное наличие дорожного освещения и света фар автомобилей приводит к уменьшению контраста находящихся на дороге объектов. В [26] это совместное воздействие было исследовано применительно к различным уровням дорожного освещения при наличии и отсутствии блёскости, создаваемой встречными автомобилями и воспринимаемой водителем припаркованного автомобиля. В основу исследований были положены шкала субъективных оценок видимости водителем автомобиля и значения видимости, рассчитанные в соответствии с моделью Адриана (*Adrian*) [28]. Дорога, относившаяся к классу M5 по классификации МКО [29], освещалась НЛВД мощностью 100 Вт. В режиме полной мощности напряжение питания было равно 230 В, а световой поток светильника был равен 7532 лм. Кроме режима полной мощности, имелись ещё два уровня, 71 и 49 %, обеспечиваемые при равных, соответственно, 210 и 190 В напряжениях питания. В результате проведённых исследований было установлено, что снижение уровня освещения до 49 %, что соответствовало освещённости, равной 4,5 лк, обеспечивало большую по сравнению с уровнем 100 % (освещённость 8,3 лк) видимость только при работе фар встречных автомобилей в режиме ближнего света и отсутствии создаваемой фарами блёскости, тогда как при работе дорожного освещения в режиме 71 % (5,9 лк) видимость оказалась хуже, чем в обоих других случаях. Кроме того, хотя при работе фар встречных автомобилей в режиме ближнего света и наличии создаваемой фарами блёскости и имели место отличия между разными уровнями дорожного освещения, эти отличия оказались несущественными [26].

Было установлено, что фары автомобилей могут считаться важным аргументом в пользу снижения уровня дорожного освещения. Однако дальность действия фар ограничена, а скорость движения автомобиля может повлиять на эффективность фар (ситуация, когда тормозной путь автомобиля превышает расстояние видимости на дороге, освещаемой фарами). Правило заведомо чистого пространства впереди (*assured clear distance ahead*) означает поддержание скорости на уровне, достаточно малом для того, чтобы водитель мог остановить автомобиль в пределах дальности видимости и, тем самым, избежать столкновения с объектами, которые могут появиться на пути следования автомобиля [30]. Основной принцип этого правила состоит в необходимости определить максимальную скорость безопасного движения, которая, как следует из определения расстояния безопасного торможения (РБТ), непосредственно зависит как от автомобиля, так и от водителя. РБТ зависит от скорости автомобиля, времени восприятия, времени реагирования, коэффициента трения и ускорения свободного падения. Эти параметры зависят как от окружающей среды, так и от опыта, внимательности и физического состояния водителя [30]. Американская ассоциация руководителей государственных шоссейных дорог и транспорта [31] считает 2,5 с тем временем, которое требуется большинству водителей для реагирования в большинстве условий, и эти 2,5 с используются в качестве времени восприятия и реагирования при проектировании дорог. Значения РБТ, соответствующие разным скоростям, говорят о том, что при скорости 50 км/ч фары автомобиля могут обеспечить отвечающую требованиям безопасности видимость на расстоянии до 60 м (принимая в соответствии с [31], что для большегрузных автомобилей коэффициент трения равен 0,65 для сухих условий и 0,38 для влажных условий). Результаты этих теоретических оценок согласуются с результатами предшествующих исследований. Одним из критериев оценки эффективности фар автомобилей с точки зрения обеспечиваемой ими видимости служит расстояние обнаружения при разных скоростях движения. Результаты ряда исследований говорят о том, что при движении с низкой, не превышающей 50 км/ч, скоростью достаточно фар ближнего света [27, 32, 33]. Например, в [32] показано, что при наличии только ближнего света фар достаточная видимость обеспечивается при скоростях до 48 км/ч. Кроме того, известно, что на неосвещённой дороге и при использовании только ближнего света молодые водители могут распознать неожиданного пешехода в тёмной одежде в среднем на расстоянии от 15 до 45 м [30, 33].

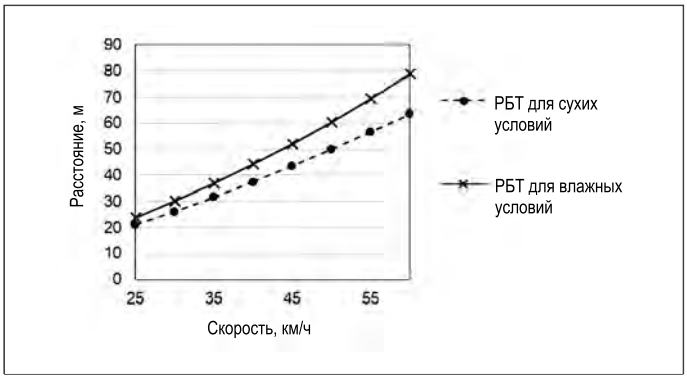


Рис. 2. Расстояние безопасного торможения (РБТ) для разных скоростей и погодных условий

На рис. 2 представлены зависимости РБТ от скорости при двух погодных условиях. Так как фары автомобилей доминируют на расстоянии от 0 до 60 м [3], то РБТ не должно превышать 60 м. Как следует из рис. 2, РБТ зависит как от скорости движения, так и от состояния поверхности дороги. Кроме того, движение с высокой скоростью может привести к уменьшению эффективности фар автомобилей (ситуация, когда тормозной путь автомобиля превышает расстояние видимости дороги, освещаемой фарами) и увеличению эффективности дорожного освещения. В [34] исследовалась зависимость расстояния обнаружения небольших препятствий от уровня дорожного освещения при движении с высокой (89 км/ч) скоростью. Полученные результаты продемонстрировали существенные различия между освещением, работающем в режиме полной мощности, и освещением, работающем в других режимах. Наилучшие значения расстояния обнаружения

были получены при работе дорожного освещения в режиме полной мощности.

Так что имеется возможность уменьшения энергопотребления в результате учёта совместного влияния дорожного освещения и света фар в случае дорог с низкой скоростью движения или в случае, когда автомобиль приближается с малой скоростью (менее чем 50 км/ч).

4. Экологическая безопасность

4.1. Потребность в экологически безопасном наружном освещении

Появление СД повлекло за собой глобальное преобразование освещения, при котором СД приходят на смену традиционным средствам освещения, а новые поставщики и организации меняют облик светотехнической отрасли. Переход на СД заставил участников рынка отреагировать на изменяющиеся условия и наличие требований к экологической безопасности и техническим характеристикам новых изделий с СД посредством учреждения новых международных организаций, таких как Всемирная светотехническая ассоциация (*Global Lighting Association*) [36, 37], Европейская светотехническая ассоциация (*Lighting Europe*) [38] и Жага (*Zhaga*) [39, 40]. Эти глобальные изменения были поддержаны общественными и международными организациями посредством разработки новых международных стандартов на испытания изделий с СД и запуска вспомогательных программ. Вся эта деятельность была направлена на ускорение преобразования рынка и международной торговли и внедрение новой СД техники, оказывающей положительное воздействие на устойчивое, экологически безопасное развитие экономики [41, 42].

Однако из всех различных сегментов рынка именно наружное освещение часто оказывается самой регулируемой составляющей инфраструктуры развитых стран. Кроме того, капиталовложения в наружное освещение планируются в долгосрочной перспективе, охватывающей, зачастую, несколько десятилетий [43]. Для того, чтобы соответствовать потребностям владельцев осветительных сетей и участников дорожного движения в функциональном освещении, установки наружного освещения должны удовлетворять определённым критериям, содержащимся в стандартах и рекомендациях Международной комиссии по освещению (МКО), Европейской комиссии по стандартизации (*CEN*), Американского национального института стандартов (*ANSI*) и Североамериканского светотехнического общества (*IES*). Стандарты на дорожное освещение содержат светотехнические требования, включающие в себя требования к яркости, освещённости, равномерности и слепящей блёскости, создаваемым светильниками.

Однако в дополнение к удовлетворению нормативным требованиям, от осветительных установок всё чаще ожидают, что они не будут наносить вред окружающей среде. Это означает, что при выборе технических средств предпочтение следует отдавать изделиям, наиболее благоприятным с экономической, экологической и социальной точек зрения, что является достаточным условием для внедрения эффективных светотехнических изделий. Такой основанный на жизненном цикле подход влечёт за собой оценку того, как изделия ведут себя с точки зрения экологической безопасности и какие компромиссы или зависимости, если они есть, существуют между различными техническими средствами и связанной с ними опасностью для окружающей среды [44, 45]. Однако оценка экологической безопасности всё ещё находится на стадии разработки, и анализ можно производить, комбинируя различные научные подходы и методы [45]. Применительно к наружному освещению была разработана схема, состоящая из набора показателей и мер экологической безопасности, позволяющих с разных точек зрения оценить долгосрочную экологическую безопасность именно светильников с СД [46]. В рамках этой схемы оценка экологической безопасности производится при помощи формальных индикаторов и методов в сочетании с качественными параметрами обеспечения экологической и социальной безопасности и экономической приемлемости. Кроме того, оценка экологической безопасности и экономической приемлемости может осуществляться с использованием хорошо известных методов, тогда как методы оценки социальных последствий всё ещё не однозначны [44, 47].

4.2. Оценка экологической и экономической приемлемости наружного освещения

Экологическую и экономическую приемлемость различных изделий для наружного освещения можно оценить на основе сравнения их характеристик на всех этапах их жизненного цикла с точек зрения вреда, наносимого окружающей среде (оценка жизненного цикла), и затрат за срок службы [48–50]. Внедрение СД в дорожное освещение привело к появлению ряда исследований, посвящённых сравнению экологической и экономической приемлемости новых изделий [51–55]. В основу этих исследований было положено сравнение эффективности новых изделий с СД и повсеместно используемых НЛВД за весь жизненный цикл. Что касается проведения оценок, то в [2] было предложено проводить сравнение исходя из таких ключевых параметров, как мощность светильника, его световая отдача, сроки службы лампы и светильника и расстояние между опорами. В дополнение к этому, в [51] было предложено в качестве функциональной единицы использовать километр освещённой дороги.

Полученные в последнее время результаты говорят о том, что светильники с НЛВД и СД воздействуют на окружающую среду одинаково, и наибольшее воздействие имеет место на стадии эксплуатации светильников: 96 % в случае НЛВД и 87 % в случае СД. Так что отличительной особенностью наружного освещения является то, каким образом различные осветительные приборы воздействуют на окружающую среду во время эксплуатации, т.е. когда освещение включено. В качестве проблемы, присущей различным вариантам освещения и конструкциям светильников, кроме энергопотребления рассматриваются ещё и другие факторы, в первую очередь, световое загрязнение, которое можно определить как повышенный уровень искусственного освещения в ночное время [56] и непреднамеренное освещение различных участков [57, 58]. Дорожное освещение может вызвать световое загрязнение, которое проявляет себя как свечение неба и свет, проникающий в пределы частной собственности и, тем самым, нарушающий право владения (*light trespass*) [59, 60]; иными словами, дорожное освещение приводит к увели-

чению яркости ночного неба [61] и наличию непреднамеренно освещаемых участков [62].

Для минимизации этого воздействия были предприняты определённые шаги. Международная ассоциация тёмного неба и Североамериканское светотехническое общество разработали инструменты планирования и выбора подходящего наружного освещения. Эти организации создали для муниципальных органов шаблон постановлений в области освещения [63], который направлен на приведение наружного освещения в соответствие с имеющимися рекомендациями при одновременном сведении к минимуму негативного воздействия на окружающую среду на стадии эксплуатации [2]. Кроме того, этот шаблон дополнен ещё одним инструментом, направленным на минимизацию отрицательного воздействия, оказываемого на окружающую среду на стадии эксплуатации светильников, например, светового загрязнения [64]. Система оценок, предложенная Североамериканским светотехническим обществом, должна помочь при выборе для осветительных установок светильников с подходящим экранированием излучения.

Что касается экономической эффективности светильников с НЛВД и СД, то она также оценивалась неоднократно [2, 52, 55]. Закупочная стоимость светильников с СД часто намного, иногда в несколько раз, превышает стоимость светильников с НЛВД [52, 55], а это создаёт впечатление, что полная стоимость жизненного цикла у первых больше, чем у вторых. Ещё одной причиной экономической неэффективности светильников с СД является их конструкция, которая не обязательно предусматривает возможность замены СД матриц по окончании их срока службы [52]. Это приводит к увеличению затрат на техническое обслуживание светильников с СД на протяжении длительного инвестиционного периода, так как в течение эксплуатационного периода приходится менять светильники в целом.

Однако проведённые в упомянутых исследованиях анализы чувствительности и сценариев показали, что светильники с СД могут оказаться более экономически эффективными, чем светильники с НЛВД [2, 52]. Благодаря развитию светотехнической промышленности вообще и производства светильников с СД в частности, СД стали конкурентоспособной альтернативой НЛВД [2]. Улучшение эффективности жизненного цикла обусловлено проводимыми во всём мире научными исследованиями и разработками в области СД [35] и сотрудничеством промышленности и науки. При этом по мере развития осветительной отрасли она привлекает новых участников рынка, которые используют новые методы создания светильников. Эти новые методы включают себя ускоренное изготовление опытных образцов и использование автоматизированных технических средств производства, таких как роботы. Как следствие, предприятия приобрели возможность быстро апробировать изделия и получать информацию об их первых вариантах, а затем исправлять качество изделий для проведения следующей апробации. Увеличение количества конкурирующих друг с другом поставщиков привело к снижению закупочной стоимости светильников с СД и является основным объяснением улучшения эффективности жизненного цикла этих изделий. С другой стороны, результаты, полученные применительно к жизненному циклу, нельзя считать неизменными, так как они могут зависеть от конкуренции и структуры местного рынка.

Светильник с СД всё ещё способны увеличить свою эффективность, и их можно оптимизировать в части потребления электроэнергии, световой отдачи, модульности и срока службы. Эти усовершенствования сделают изделия с СД более эффективной экономически альтернативой изделиям с НЛВД.

5. Будущее дорожного освещения

СД и изделия с ними являются инновационной, быстро прогрессирующей продукцией, которая займёт доминирующее положение в светотехнике. По оценкам Министерства энергетики США, к 2020 г. световые отдачи светильников с СД могут достичь почти 200 лм/Вт [22]. Световая отдача корпусированных СД может оказаться равной 220 лм/Вт, а полный КПД светильника достигнет 89 % (КПД светильника складывается из его термического КПД, КПД устройства управления (93 %), оптического КПД (94 %) и поправочного коэффициента для работы при пониженном значении тока (1,09)). Если сравнивать с современными светильниками с разрядными лампами, то световая отдача светильников для дорожного освещения может в будущем возрасти более чем в три раза. А если воспользоваться предложенной функциональной единицей (километр освещённой дороги), то следует учитывать ещё и распределение силы света светильника, полный световой поток, высоту опор, расстояние между опорами и другие параметры. Как бы то ни было, светильники с СД успешно конкурируют с современными светильниками с разрядными лампами. Требуемое распределение силы света светильника с СД обеспечивается при помощи вторичной оптики, обычно, линз, позволяющей направлять свет на выбранные участки даже эффективнее, чем в случае светильников с разрядными лампами, в которых для направливания света используются отражатели.

Преимущества светильников с СД перед светильниками с НЛВД можно просуммировать следующим образом: 1) более высокая световая отдача; 2) больший срок службы источника света; 3) мгновенное зажигание на максимальное значение светового потока и отсутствие задержки при перезажигании; 4) световая отдача не уменьшается при светорегулировании; и 5) светорегулирование не влияет на срок службы источника света [65]. Фактически, уменьшение температуры *p-n*-перехода при светорегулировании приводит к увеличению срока службы.

Данные, приведённые в табл. 1, говорят о том, что использование светильников с СД может привести к уменьшению потребления энергии на 83 % по сравнению со светильниками с НЛВД, тогда как современные светильники с СД обеспечивают уменьшение потребления энергии на 31 %.

Будущее дорожного освещения – это интеллектуальное освещение. Поэтому МКО разработала стандарт на интеллектуальное дорожное освещение, который учитывает внешние факторы, такие как интенсивность движения, остаточный уровень естественного освещения, устройство дороги, ДТП и погодные условия [29]. Разработка стандарта была основана на опыте сооружения 20000 интеллектуальных световых точек, установленных на дорогах Европы (проект *E-street* [14]). По оценкам, замена старых осветительных установок на новые установки с интеллектуальными системами управления позволяет сэкономить

Таблица 1

Сравнение источников света [2]

Источники света		Мощность, Вт	Световая отдача, лм/Вт	Световой поток, лм	Годовая продолжительность горения, ч/год*	Годовое потребление энергии, кВт·ч/год	Экономия энергии, %
НЛВД		175	69	12000	4000	700	
СД	Современные	120	100	12000	4000	480	31
		120	100	12000	2000*	240	66
	Перспектива	60	200	12000	4000	240	66
		60	200	12000	2000*	120	83

* При наличии интеллектуальных систем управления годовая продолжительность горения уменьшается на 50 %.

38 ТВт·ч электроэнергии в год, что составляет примерно 64 % от годового потребления энергии дорожным освещением. Основанием для проведения этого крупномасштабного пилотного проекта интеллектуального дорожного освещения послужило понимание того, что при малом количестве транспортных средств на дороге уровень освещения может быть уменьшен. В последние годы появилось большое число исследований, результаты которых говорят о том, что водители не нуждаются в высоких уровнях освещения и при большой интенсивности движения, так как их внимание сосредоточено на задней части движущегося впереди автомобиля и в пределах действия фар [12, 13, 25]. Так что освещение, обеспечиваемое фарами автомобилей, позволяет использовать интеллектуальное дорожное освещение не только при отсутствии или низкой интенсивности движения, но и при высокой интенсивности движения. И это никак не сказывается на безопасности дорожного движения.

СД и интеллектуальные системы управления позволяют изменить дорожное освещение таким образом, который приведёт к благоприятным последствиям для экологии. СД увеличивают экологическую безопасность освещения в первую очередь благодаря улучшению эффективности жизненного цикла изделий. Кроме того, экологическая безопасность возрастёт благодаря развивающимся системам интеллектуального освещения, позволяющим оптимизировать освещение, исходя из реальных сиюминутных потребностей участников дорожного движения. Однако мы ещё мало знаем о социальных последствиях дорожного освещения, таких как подавление выработки мелатонина. Возможно, что в будущем появятся рекомендации не только относительно уровня освещения, но и относительно коррелированной цветовой температуры, тем более что в случае СД коррелированную цветовую температуру можно задавать в процессе производства.

6. Заключение

Имеющиеся в настоящее время энергетические и экономические трудности приводят к ускорению внедрения в дорожное освещение новой техники. В этой статье просуммированы и объяснены моменты, связанные с широким применением СД и устройств управления в дорожном освещении в будущем. Основными преимуществами применения СД в дорожном освещении являются большой срок службы источников света, высокая световая отдача и возможность быстрого светорегулирования. В результате система управления освещением может работать в режиме реального времени, исходя из сиюминутных потребностей участников дорожного движения. В настоящее время имеются несколько систем управления, которые обеспечивают экономию электроэнергии. Эти системы управления основаны, главным образом, на отслеживании уровня естественного освещения, интенсивности движения и погодных условий. В периоды низкой интенсивности движения или в случаях, когда дорога покрыта снегом, уровень освещения можно уменьшить. Свет фар автомобилей также оказывает сильное влияние на видимость препятствий на дорогах.

Прогресс в области дорожного освещения и систем управления приведёт к изменению подхода к дорожному освещению. Использование СД и интеллектуальных систем управления обеспечит большую экологическую безопасность дорожного освещения. Дорожное освещение станет более эффективным не только с экономической и экологической точек зрения, но и с социальной точки зрения. В то же время, безопасность водителей и других участников дорожного движения останется на том же уровне, что и в случае традиционных осветительных установок, или даже улучшится.

Это исследование финансировалось Исследовательской программой по энергоэффективности Университета Аалто (проект *Light Energy – Efficient and Safe Traffic Environments*) и Фондом экономического образования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEA. International Energy Agency, Light's labour lost: Policies for Energy-efficient Lighting, 2006. [Online]. Available: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light2006.pdf. [Accessed 21.07. 2017].

2. *Tetri, E., Bozorg Chenani, S., Räsänen R-S., Baumgartner, H., Vaaja, M., Sierla, S., Tähkämö, L., Virtanen, J-P., Kurkela, M., Ikonen, E., Halonen, L., Hyyppä, H., and Kosonen, I.* Tutorial: Road Lighting for Efficient and Safe Traffic Environments // LEUKOS. – 2017. – Vol. 13, No. 4. – P. 223–241.

3. *Van Bommel, W.* Road lighting fundamentals, technology and application. Switzerland: Springer, 2015. 334 pp.

4. CIE Commission Internationale de l'Eclairage, Road lighting as an accident countermeasure, CIE. Publication No. 93., Vienna (Austria), 1992.

5. *Elvik, R.* Meta-analysis of evaluations of public lighting as accident countermeasure // Transportation research record (TRR). – 1995. – P. 112–123.

6. *Wanvik P.* Effects of road lighting: an analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006 // Accident analysis and prevention. – 2009. – Vol. 41, No. 1. – P. 123–128.

7. World Health Organization, The top 10 causes of deaths, 2017. [Online]. Available: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/. [Accessed 19.08.2017].

8. American Association of State Highway and Transportation Officials., Highway safety manual. 1st ed., 2010. [Online]. Available: http://aP. knovel.com/hotlink/toc/id: kpHSM00002/highway-safety-manual/highway-safety-manual. [Accessed 22.06. 2017].

9. *Assum, T., Bjornskau, T., Fosser, S., Sagberg, F.* Risk compensation-the case of road lighting // Accident analysis and prevention. – 1999. – Vol. 31. – P. 545–553.

10. *Elvik, R., Vaa, T.* The handbook of road safety measures. Oxford, U.K.: Elsevier, 2004.

11. *Liping, G., Marjukka, E., Halonen. L.* Luminance monitoring and optimization of luminance metering in intelligent road lighting control systems // Ingineria Iluminatului. – 2007. – Vol. 9. – P. 24–40.

Полный список литературы (65 наименований) депонирован в редакции

Саназ Бозорг Ченани (Sanaz Bozorg Chenani). *Окончила Королевский технический институт, Стокгольм, Швеция (2012 г.). Аспирант (Ph.D.) Университета Аалто, Финляндия. Область научных интересов: дорожное освещение, безопасность и моделирование дорожного движения и управление дорожным движением*

Рами-Самули Рясянен (Rami-Samuli Räsänen). *Окончил Хельсинский университет и Университет Аалто. Аспирант (Ph.D.) Университета Аалто, Финляндия. Область научных интересов: оценка развивающихся технологий и управление устойчивым развитием промышленности с упором на светотехнику*

Эйно Тетри (Eino Tetri), *D. Sc. Окончил Хельсинский технический институт (2001 г.) Область научных интересов: источники света, светодиоды, энергоэффективное освещение, наружное и внутреннее освещение*

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНФЕРЕНЦИИ В 2018 ГОДУ (II ПОЛУГОДИЕ)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
16–19.04	***Электро 2018*** Международная выставка электротехнического оборудования	**Москва, РФ** expomap.ru
17–19.04	***ЭкспоЭлектроника 2018*** Международная выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих ***ЭлектронТехЭкспо 2018*** Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности	
17–22.04	***Euroluce 2018*** Международная светотехническая выставка	**Милан, Италия** expomap.ru
18-20.04	***Конференция «Свет в музее»*** Международная конференция, посвящённая вопросам современного освещения музеев и музейных экспонатов	**Санкт-Петербург, РФ**
24–28.04	***EXPOLUX 2018*** Международная светотехническая торговая выставка с конференцией	**Сан-Паулу, Бразилия** lightsearch.com
	CIE 2018 Topical Conference on Smart Lighting Тематическая конференция, под эгидой МКО, по интеллектуальному освещению с коллоквиумами по цветовому зрению и гигиеничному освещению	**Тайбэй (Тайвань/Китай)** cie.co.at
03–05.05	***INALIGHT 2018*** Индонезийская международная светотехническая выставка	**Джакарта, Индонезия** lightsearch.com
05–05.05	***LEDTEC Asia*** Вьетнамская международная торговая выставка по светодиодам, органическим светодиодам и цифровым медиасистемам	**Хошимин, Вьетнам** lightsearch.com
06–10.05	***LIGHTFAIR Int'l*** Международная светотехническая торговая выставка	**Чикаго, США** lightsearch.com
10–12.05	***LED Expo Thailand*** Международная светотехническая торговая выставка	**Бангкок, Тайланд** lightsearch.com
09–12.06	***Guangzhou Int'l Lighting Exhibition*** Международная светотехническая торговая выставка	**Гуанчжоу, КНР** lightsearch.com
20–23.06	***Lightovation: Dallas Int'l Lighting Show*** Международная светотехническая торговая выставка («летняя»)	**Даллас (Тех.), США** lightsearch.com

Оценка состояния и перспектив развития систем облучения в современных тепличных комплексах

В.М. ПЧЕЛИН, И.Е. МАКАРОВА

ООО «Рефлакс», Москва
E-mail: info@reflux.ru

Аннотация

Проводится анализ системы искусственного облучения, применяемой в современных тепличных хозяйствах с использованием светокультуры, и даётся оценка перспектив внедрения облучателей со светодиодами в эту систему с учётом сроков окупаемости по сравнению с традиционными облучателями с зеркальными натриевыми лампами ВД.

Ключевые слова: тепличное облучение, светокультура, разрядные натриевые лампы, ДНаЗ, светодиоды, эффективные системы облучения, облучательные установки, окупаемость.

Промышленное овощеводство в защищённом грунте представляет собой один из ключевых сегментов агропромышленного комплекса отечественной экономики и в настоящее время переживает период бурного развития.

По данным Ассоциации «Теплицы России», общая площадь индустриальных теплиц в стране достигает 2500 га, из которых более 500 га – с системами технологического облучения, обеспечивающего возможность круглогодичного выращивания овощей (рис. 1). Интенсивному строительству новых теплиц способствует высокий потребительский спрос населения на свежие овощи в период межсезонья и государственный запрет на импорт овощей тепличной группы в Россию. Программа развития сельского хозяйства России на 2013–2020 гг. включает в перечень приоритетных направлений финансирования проекты создания и развития тепличных хозяйств с применением искусственного облучения. Только за 2017 г. размер площадей под светокультурой увеличился в 1,5 раза.

В структуре тепличного производства с использованием светокультуры 60 % составляет культура огурца (30 % занимают томаты и 10 % – зеленные культуры), поскольку именно огурец наиболее чувствителен к изменению уровня облучения. В результате модернизации теплиц с помощью системы облучения показатели урожайности огурца вырастают с 40–50 до 120–150 кг/м^2. При этом основной прирост приходится на зимнее время, когда цены на свежие овощи максимально высоки.

Для нормального роста растений и достижения высоких показателей урожайности требуется значительный уровень освещённости: от 10 до 30 клк. По энергозатратам крупные тепличные комплексы сопоставимы с небольшими городами и посёлками. Свет от них виден на расстоянии многих десятков километров. Очевидно, что при такой потребляемой мощности затраты на электроэнергию составляют значительную часть себестоимости производимой продукции, доходя до 30–40 %. В связи с этим повышение эффективности источников излучения (ИИ) и оптических схем для облучателей стало одной из важнейших задач производителей облучательного оборудования для тепличной отрасли.

Более 20 лет назад в России тепличный комбинат (ТК) «Майский» (Казань) одним их первых начал выращивать огурцы с использованием искусственного освещения. Руководство комбината заинтересовали зеркальные натриевые лампы ВД (НЛВД) ДНаЗ *Reflux*, на тот момент только появившиеся на тепличном рынке. Лампы первой партии, показав хорошие результаты, стали основными ИИ для облучения растений на комбинате. Зеркальным НЛВД производства ООО «Рефлакс» ТК «Майский» остаётся верен по сей день. Сегодня на нём установлено более 120000 облучателей с НЛВД ДНаЗ *Reflux* мощностью 600 Вт.

Следом за «Майским», оценив экономические выгоды, искусственное облучение начали внедрять и другие комбинаты. В процессе развития направления светокультуры сформировалась эффективная технология, основанная на использовании облучателей с НЛВД мощностью 600 и 1000 Вт, которую сегодня применяет абсолютное большинство тепличных хозяйств России и всего мира. С её помощью такие ведущие отечественные тепличные предприятия, как «ЛипецкАгро», «Выборжец», «Новосибирский», «Чурилово», ГУП РМ «Тепличный» и «Ярославский» собирают по 130–150 кг/м^2 огурца в год, а флагман тепличной отрасли ТК «Майский» – до 180 кг/м^2 (рис. 2).

Важно подчеркнуть, что использование облучательных установок (ОУ) с НЛВД в ТК не просто значительно повышает показатели урожайности, но и обеспечивает высокий уровень рентабельности, подтверждаемый экономическими показателями предприятий.

Рис. 1. Зимняя теплица с использованием системы искусственного облучения (тепличный комбинат «Майский», Казань)

Рис. 2. Светокультура огурца

Рис. 3. Облучатель и зеркальная натриевая лампа ВД ДНаЗ *Reflux*

Сегодня порядка 80 % ТК России используют высокоэффективные системы облучения на базе зеркальных НЛВД ДНаЗ *Reflux*, не имеющих мировых аналогов (рис. 3).

Благодаря своим конструктивным особенностям (отражатель – зеркалированная часть внутренней поверхности колбы специальной формы) НЛВД ДНаЗ *Reflux* при одинаковой установленной мощности создают более высокую облучённость по сравнению с обычными НЛВД. Форма колбы рассчитана таким образом, что отражённые лучи не попадают обратно на горелку. Это обеспечивает высокий КПД (более 95 %), стабильную световую отдачу и долгий срок службы НЛВД ДНаЗ *Reflux* (рис. 4).

Зеркальная НЛВД имеет широкую КСС в поперечной плоскости (рис. 4), что делает облучение «объёмным и равномерным». Именно такой тип облучения способствует хорошему росту и развитию растений. Это особенно актуально для высокорослых культур, таких как огурец и томат, так как при прохождении через ценоз интенсивность вертикально направленного излучения резко падает, и каждый нижний лист получает в 5 раз меньше излучения, чем верхний. Учитывая направление роста и структуру листьев, наиболее эффективно для этих растений облучение, сочетающее в себе вертикально направленное верхнее излучение и боковое, равномерно и глубоко проникающее в ценоз. Расположенные над каждым межрядьем зеркальные НЛВД с широкой КСС в поперечной плоскости создают облучение, при котором лучи падают не только сверху, но и сбоку на внешнюю поверхность листа под углом, близким к 90º, и не перегревают растение. В этом случае необходимость в межрядном облучении отпадает (рис. 5).

Зеркализованная внутренняя поверхность лампы сама по себе уже является отражателем, который, находясь в вакууме, не теряет своих свойств. Это позволяет избежать спада светового потока, вызванного окислением и запылением отражателя. В лампах ДНаЗ *Reflux/Ag* 600*W*/400*V* в качестве материала напыления используется серебро 99,9 пробы, которое обладает высоким коэффициентом отражения.

Благодаря использованию в облучателях ЭПРА с КПД не менее 96 % НЛВД ДНаЗ *Reflux* получили дополнительные преимущества.

Таким образом, в отечественных теплицах сегодня используются высокоэффективные ОУ, обеспечивающие высокий уровень урожайности и рентабельности предприятий. В их состав входят облучатели с ЭПРА и НЛВД (преимущественно зеркальными) с пассивной оптической системой, которые имеют световую отдачу до 150 лм/Вт, коэффициент эффективности излучения (*PPF*/Вт) 2 мкмоль/(с·Вт) и срок службы свыше 20000 ч.

Однако жизнь не стоит на месте и требует постоянного движения вперёд. Сегодня мы наблюдаем активный процесс поиска на рынке тепличного облучения новых эффективных ИИ. В конкурентную борьбу вступают СД-ИИ.

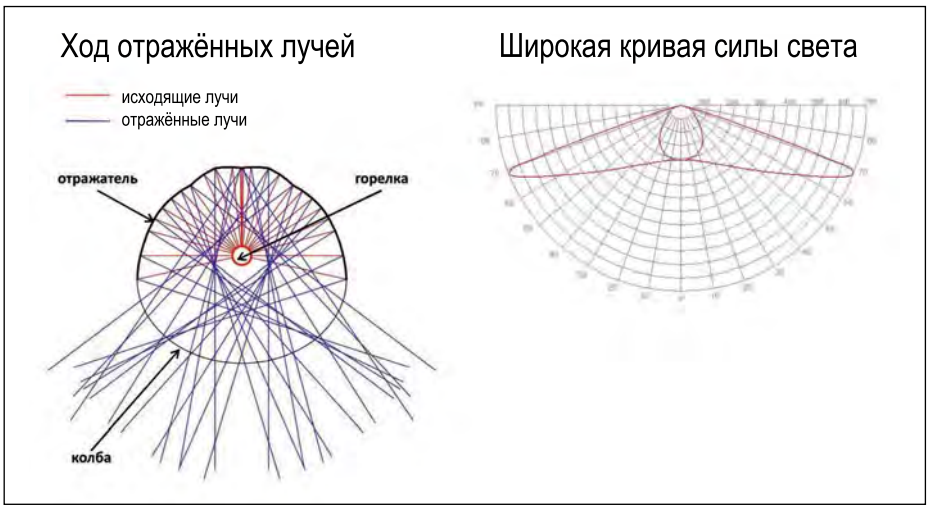


Рис. 4. Оптическая схема лампы ДНаЗ *Reflux*

Рис. 5. Лампы ДНаЗ *Reflux* в теплице

Внедрение последних представляет собой многосторонний процесс, в котором продвижение продукции на потребительский рынок идёт рука об руку с развитием её технических характеристик и снижением себестоимости. Логично, что первыми на новые технологии положительно реагируют именно те сферы экономики, где очевидна финансовая выгода от их применения.

По теории жизненного цикла продукта, завоевание рынка происходит поэтапно: вывод на рынок, внедрение, рост, зрелость, насыщение и упадок (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что развитие СД-ИИ в трёх обозначенных направлениях применения сейчас находится на разных стадиях, что в немалой степени зависит от конкурентоспособности «традиционных» ИИ, вытесняемых СД-ИИ. Наиболее успешно этот процесс идёт там, где заменяются энергетически неэффективные ИИ: лампы накаливания в бытовом или лампы «ДРЛ» в уличном освещении. Но в области тепличного облучения, где требуется в буквальном смысле море света, у СД-ИИ очень сильный соперник – НЛВД, по соответствующим характеристикам практически не уступающие СД-ИИ, но на порядок более дешёвые.

На данный момент в области тепличного облучения СД-ИИ проходят начальную стадию вывода на рынок, которая характеризуется многочисленными экспериментами и очень высокой степенью неопределённости результатов. На этом этапе сложно проследить экономическую выгоду. Продукт стоит дорого в связи с постоянной модернизацией и малым объёмом производства, и активно идёт работа по улучшению светотехнических характеристик и адаптации его к запросам рынка. Именно эти процессы сегодня и наблюдаются в области тепличного облучения.

Производители СД предлагают разные варианты облучателей с ними, обещая значительную экономию электроэнергии, либо прирост урожая, либо и то, и другое. Многие тепличные хозяйства, проявляя интерес к облучению этими ИИ, проводят локальные эксперименты, которые пока не дают убедительных результатов (рис. 7).

Учитывая большой интерес к развитию СД-направления в тепличной отрасли, ниже приведена попытка оценить перспективы внедрения СД-ИИ путём сравнения сроков окупаемости затрат на организацию искусственного облучения с помощью ОУ с НЛВД («традиционных») и ОУ с СД.

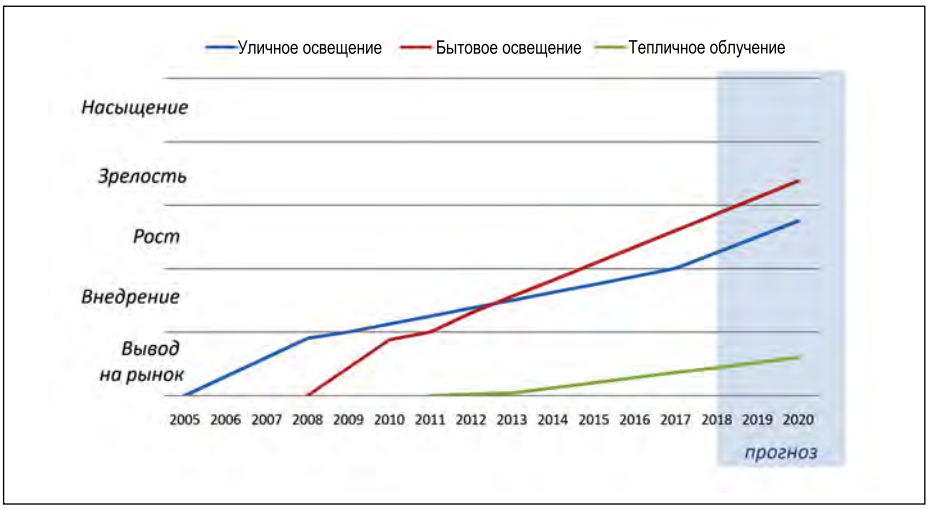


Рис. 6. Этапы внедрения светодиодов по направлениям

Рис. 7. Облучатели со светодиодами для выращивания растений

Очевидно, ввиду отсутствия объективных экономических результатов использования облучателей с СД в промышленных масштабах в настоящее время возможны лишь расчётные оценки, исходя из обобщённых данных на основе экспертных оценок.

Итак, рассмотрим случай, когда руководство современного тепличного хозяйства принимает решение о внедрении системы искусственного облучения растений для повышения рентабельности выращивания огурца в зимне-весенний период.

Технология светокультуры позволяет увеличить показатели урожайности в зимний период в среднем на 60 кг с 1 м^2 (площади теплицы) в год. Соответственно, при цене 80 руб. за 1 кг продукции предполагаемый дополнительный доход предприятия может составить 4800 руб. с 1 м^2.

Как правило, для достижения названных показателей урожайности необходимы облучённость порядка 200 Вт/м^2 или плотность фотосинтетического потока фотонов (*PPFI*) порядка 300 мкмоль/(м^2·с). Их обеспечивает облучатель ЖСП 25 с ЭПРА, укомплектованный лампой ДНаЗ *Reflux/Ag* 600*W*/400*V*. Стоимость оборудования на 1 м^2 в данном случае составляет 2500 руб., поскольку одна ОУ с лампой ДНаЗ (цена данной ОУ – 7500 руб.) облучает участок площадью 3 м^2.

Для сравнения возьмём комплект облучателей серии «*GreenPower LED*», используемых для верхнего облучения и межрядного облучения компании *Philips*. По данным изготовителя, облучатели «*GreenPower LED*» на 25 % превосходят по фотосинтетическому потоку фотонов (*PPF*) облучатели с НЛВД. При этом стоимость комплекта этих облучателей на 1 м^2 теплицы по среднерыночным оценкам – порядка 25000 руб.

Если стоимость электроэнергии при питании от электростанций на базе ГПУ с учётом амортизации и эксплуатационных затрат составляет 2,5 руб./кВт·ч и наработка в год составляет 4000 ч, то получаются следующие цифры ежегодных удельных затрат на электроэнергию:

- для облучателя с ДНаЗ *Reflux/Ag* 600/400: 200 Вт/м^2 · 2,5 руб./кВт·ч · 4000 ч = 2000 руб./м^2;

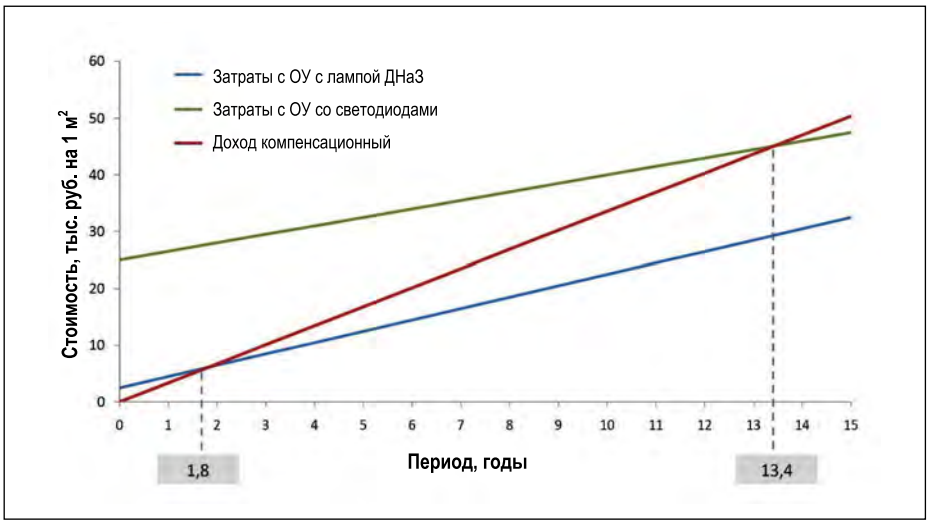


Рис. 8. Оценка срока окупаемости облучательных установок в тепличном облучении

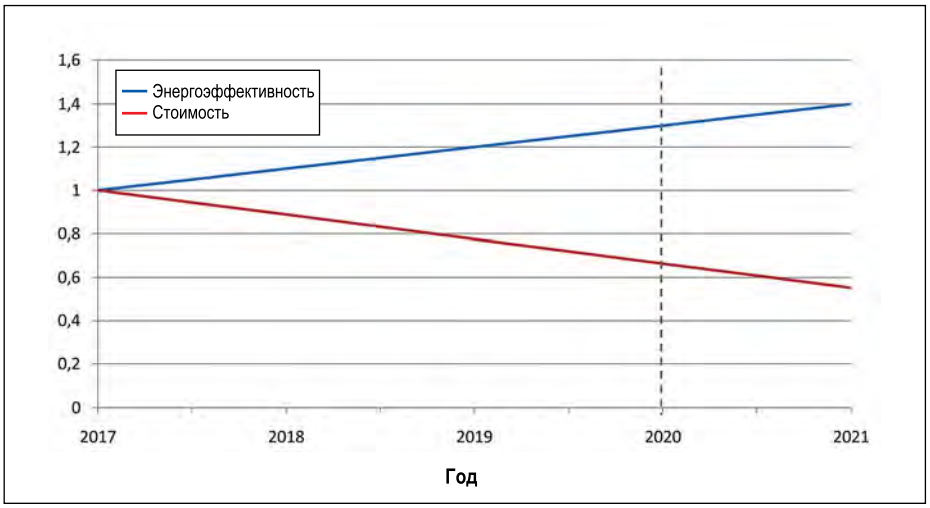


Рис. 9. Оценка относительной динамики изменения показателей облучательных установок со светодиодами в тепличном облучении

• для облучателя *Philips* «*Green-Power LED*»: 2000 руб./м^2 · 0,75 = 1500 руб./м^2.

Предположим, что порядка 30 % полученного от внедрения светокультуры дополнительного дохода покрывают издержки на себестоимость продукции, не связанные с организацией облучения. В этом случае на компенсацию капитальных затрат и затраченной электроэнергии приходится 70 %, что составляет 3360 руб./м^2 в год. Назовём эту часть дохода «доход компенсационный» ($Д_{комп}$).

Затраты на облучение определяются капитальными затратами на приобретение оборудования и стоимостью электроэнергии. В данном расчёте, для простоты, не учитываются замена ламп ДНаЗ и спад потока излучения облучателя с СД, а также стоимости монтажа и расходных материалов для установки световых точек (как примерно равные в обоих случаях).

Окупаемость проекта наступает тогда, когда капитальные и эксплуатационные затраты на организацию искусственного облучения в теплице компенсируются накопленным за определённый период дополнительным («компенсационным») доходом $Д_{комп}$:

$$К + Э \cdot Т_{окуп} = Д_{комп} \cdot Т_{окуп}$$

где $К$ – капитальные затраты на оборудование; $Э$ – стоимость затрат на электроэнергию в год; $Т_{окуп}$ – срок окупаемости затрат, лет.

Отсюда следует:

$$Т_{окуп} = К / (Д_{комп} - Э), \qquad (1)$$

и с учётом указанных выше значений $К$, $Д_{комп}$ и $Э$ имеем:

• для установки с лампой ДНаЗ *Reflux/Ag* 600/400 $Т_{окуп}$ = 2500 руб./(3360 руб./год – 2000 руб./год) = 1,8 лет;

• для установки *Philips* «*Green-Power LED*» $Т_{окуп}$ = 25000 руб./(3360 руб./год – 1500 руб./год) = 13,4 лет.

Очевидно, столь большая разница в $Т_{окуп}$ (рис. 8) сильно задерживает приход ОУ с СД в тепличные хозяйства.

Однако СД для тепличного облучения продолжают развиваться, и в ближайшие годы можно ожидать значительное падение их стоимости и повышение энергоэффективности, что позволит сократить количество ОУ с СД и снизить годовое потребление электроэнергии.

Предположим, что снижение себестоимости и рост энергоэффективности будут проходить, как показано на рис. 9. То есть через 3 года цена облучателей с СД снизится в 1,5 раза, а энергоэффективность возрастёт в 1,3 раза, что, по предварительным оценкам, позволит сэкономить до 30 % электроэнергии (в этом случае она будет стоить порядка 1000 руб. на 1 м^2).

Уровень новых капитальных затрат с учётом улучшенных характеристик СД можно оценить по формуле

$$К_{нов} = К_{баз} / (1{,}5 \cdot 1{,}3),$$

где $К_{нов}$ – капитальные затраты с учётом повышения параметров СД (через 3 года); $К_{баз}$ – капитальные затраты на сегодняшний день.

Согласно этому и сказанному выше, $К_{нов}$ = 25000 руб./(1,5·1,3) = 12820 руб.

Таким образом, капитальные затраты на обеспечение облучения с помощью СД, спустя 3 года, снизятся почти вдвое (рис. 10).

Используя эти данные, можно оценить новый срок окупаемости затрат $Т_{окуп\text{-}н}$, с учётом возросших параметров СД, по формуле (аналогичной формуле (1))

$$Т_{окуп\text{-}н} = К_{нов} / (Д_{комп} - Э_{нов}),$$

где $Э_{нов}$ – затраты на электроэнергию в год с учётом повышения параметров СД (через 3 года):

$$Т_{окуп\text{-}н} = 12800 \text{ руб.}/(3360 \text{ руб./год} - 1000 \text{ руб./год}) = 5{,}4 \text{ лет.}$$

Из рис. 10 видно, что оборудование с СД, установленное на 3 года позже, окупится вдвое быстрее и значительно раньше, чем более дорогое и менее эффективное, купленное сейчас.

Кто готов «броситься в омут с головой», рискует оказаться в проигрышном положении по сравнению с конкурентами, поскольку, «заморозив» сейчас большие деньги в оборудовании с высоким сроком окупаемости, он не получит тех результатов, которые будут реально достижимы на 3–5 лет позже. А учитывая необходимость не просто окупить ОУ, но и получить прибыль, говорить об экономической выгоде от использования СД можно только тогда, когда срок окупаемости ОУ с СД станет значительно меньше.

В настоящее время для тепличных хозяйств масштабное внедрение облучателей с СД несёт в себе неоправданные экономические риски. Но если желание стать пионером в этой области столь велико, что вы готовы тратить время и силы на эксперименты, то наиболее оправдан путь постепенного внедрения этих облучателей в тепличное хозяйство. При этом производитель оборудования с СД в любом случае должен взять на себя все финансовые риски и возместить понесённые затраты, если таковые возникнут. Если в результате будет получен прирост урожайности, и экономическая выгода будет очевидна, тогда со временем можно поэтапно увеличивать площади, на которых используются СД.

При наличии реальных положительных результатов производитель облучательного оборудования с СД будет заинтересован максимально расширить рынок сбыта. Соответственно, решившееся на такой эксперимент тепличное хозяйство получит небольшой прирост урожайности при больших рисках и трудозатратах, а его конкуренты через год-другой смогут использовать уже апробированную технологию без дополнительных затрат и усилий. Кроме того, за это время появится новая, усовершенствованная модель облучателя с СД вдвое энергоэффективнее и существенно дешевле. Её и приобретут конкуренты, сэкономив на оборудовании и обогнав «первопроходцев» по показателям урожайности и энергоэффективности (рис. 10).

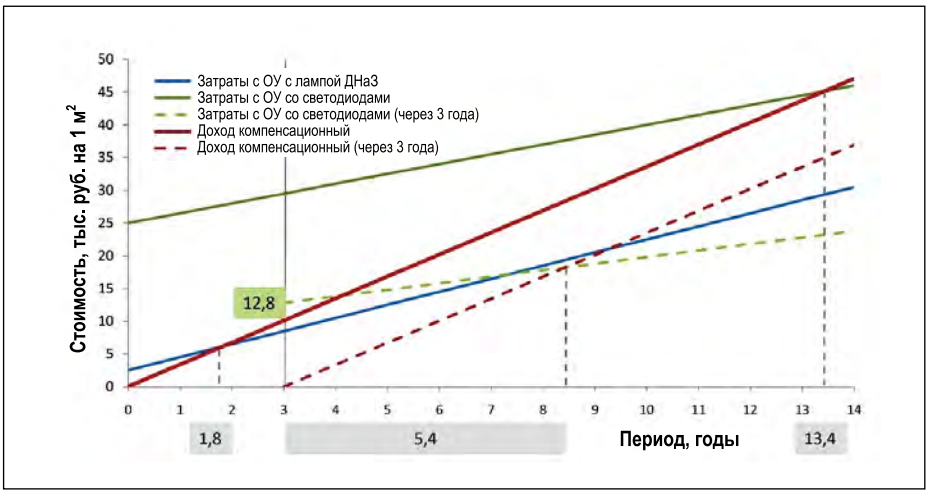


Рис. 10. Оценка сроков окупаемости облучательных установок в тепличном облучении с учётом динамики изменения параметров светодиодов

Финансирование подобных глобальных экспериментов могут позволить себе либо крупные производители оборудования с СД, либо государственные инвесторы, готовые продвигать этот продукт и вкладывать «длинные» деньги во внедрение СД в тепличное облучение.

Подводя итоги изложенного в данной статье, отметим, что:

• На процесс внедрения светодиодов в тепличное облучение существенное влияние оказывает наличие сильного конкурента в виде облучателей с НЛВД (в частности, с высокоэффективными лампами ДНаЗ *Reflux/Ag*), технические характеристики которых не уступают облучателям с СД при стоимости на порядок ниже. При этом сравнительная оценка сроков окупаемости ОУ свидетельствует не в пользу ОУ с СД.

• Очевидно, при нынешнем уровне цен и технических характеристик облучателей с СД заменять ими облучатели с НЛВД для верхнего облучения преждевременно. Можно рассмотреть варианты дополнительного межрядного облучения (дооблучения) при верхнем излучении НЛВД, например, для томата (что в любом случае повышает капитальные затраты, не гарантируя весомой прибавки урожая) или использования СД для выращивания пряных трав, салатов и других растений с коротким периодом вегетации, а также рассады разного типа при стеллажной культивации.

• Облучатели с СД имеют хорошую перспективу с точки зрения эффективности и срока службы. Но для того, чтобы они стали конкурентоспособными на тепличном рынке, необходимо повысить их рентабельность за счёт дополнительного повышения энергоэффективности и значительного удешевления, а также разработать и апробировать технологию их применения. Сегодня в данном направлении ведётся активная работа, что позволяет прогнозировать появление первых серьёзных результатов в течение ближайших 3–5 лет. До этого времени внедрение СД в промышленных масштабах в тепличное облучение напоминает игру в казино, когда на кон ставится жизнеспособность бизнеса, а теоретическая возможность выигрыша не превышает 10 %.

Пчелин Владимир Михайлович, *кандидат техн. наук. Генеральный директор ООО «Рефлакс». Окончил МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Генеральный директор ООО «Рефлакс». С 1985 г. представляет Россию в Отделении 4 МКО. В 1986 г. разработал НЛВД с зеркальным отражателем – ДНаЗ Reflux*

Макарова Ирина Евгеньевна, *маркетолог и преподаватель-филолог. Окончила Российский Институт Маркетинга (на базе ГУУ и Университета прикладных наук Inholland (Нидерланды)) и филологический факультет МГОПУ им. М.А. Шолохова. Руководитель отдела маркетинга ООО «Рефлакс»*

Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения

А.Т. ОВЧАРОВ [1, 2], Ю.Н. СЕЛЯНИН [3], Я.В. АНЦУПОВ [1, 2]

[1] Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск
[2] ООО «Световые системы», Томск
[3] ООО «Солар», Краснодар
E-mail: oat_08@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены гибридные осветительные комплексы для систем совмещённого освещения, включая концепцию их развития как структурного элемента систем освещения высокой энергетической эффективности и высокого качества световой среды и описание первого опыта реализации проекта системы совмещённого освещения на основе гибридного осветительного комплекса в здании Семейного Торгового Центра «МЕГА Адыгея».

Ключевые слова: система совмещённого освещения, система автоматического управления, гибридный осветительный комплекс, естественный свет, искусственный свет, полые трубчатые световоды, светодиодный блок искусственного света.

Введение

В 2015–2016 гг. был реализован пилотный проект системы совмещённого освещения (ССО) на базе гибридного осветительного комплекса (ГОК) в здании Семейного Торгового Центра (СТЦ) «МЕГА Адыгея»[1] (далее – СТЦ). Объект реконструкции системы освещения – входная группа магазина «Ашан» СТЦ. Заказ на реконструкцию осветительной системы СТЦ с использованием инновационных осветительных комплексов, естественно, вызывает настороженное отношение, усугубляемое достаточно высокими капитальными затратами на строительство ССО. Очевидно, что решающую роль в снятии сомнений и принятии правильного решения должна играть убедительная и объективная информация о перспективности ССО на базе ГОК, об их технических преимуществах и выгодных экономических показателях, в частности о привлекательном сроке окупаемости капитальных вложений (инвестиций) на устройство инновационных систем освещения.

Концепция ГОК для ССО

Существенное повышение экономической, экологической и социальной эффективности энергосбережения в освещении вместе с повышением его безопасности и комфортности может быть достигнуто посредством нетрадиционных технологий нового, более высокого уровня. С этих позиций перспективны ГОК, реализующие даровой ресурс естественного света. В инженерно-технических мероприятиях по реализации потенциала естественного света перспективны передовые средства эффективной передачи света с помощью полых трубчатых световодов [1, 2], и их использование в зданиях становится творческой задачей архитекторов и дизайнеров. Сочетание ресурсов естественного света и энергоэффективности искусственного с системой автоматического управления (САУ) и формирует ССО, отличительным признаком которой является стабильность характеристик световой среды вследствие компенсации переменного во времени естественного компонента соответствующей корректировкой компонента искусственного (электрического освещения). ССО на основе ГОК представляют комплексное решение, определяющее современную архитектуру осветительных систем высокой энергетической эффективности. Преимущества ГОК перед традиционными решениями открывают перспективы их применения: компактность архитектурно-дизайнерских конструктивных решений; комфортная световая среда; высокая энергетическая эффективность; возможность гибкого управления параметрами световой среды помещения.

Универсальность и высокая энергоэффективность ССО инициировали оригинальные инженерные решения [3–7]. Закономерный финал эволюции ССО с автоматическим управлением – комплекс трёх взаимосвязанных неразделимых компонентов: ПТС (естественный свет) – светодиодный источник света (искусственный свет) – САУ [8–11], которые лишь в совокупности определяют характеристики системы. Такой системе соответствует термин «ГОК» и применимо следующее определение, согласно ГОСТ [12]: «ГОК – устройство, предназначенное для совмещённого освещения, объединяющее в себе два вида источников света (естественного и искусственного), интегрированных в единую конструкцию, и систему автоматического управления, имеющее общую техническую документацию, обеспечивающее технологию совмещённого освещения и выполняющее свои функции у потребителя только в собранном виде».

ГОК объединяет в своей конструкции полый трубчатый световод (ПТС) и блок искусственного света (БИС), в роли излучателей которого используются «встраиваемые светодиодные модули со встроенным устройством управления» [13]. К ГОК применимы фотометрические методики, метрологические понятия и светотехнические характеристики осветительных приборов по ГОСТ [13].

Актуальность ССО на основе ГОК возрастает в связи с новыми тенденциями развития архитектуры и строительства сооружений с ограниченным естественным освещением (спортивные, торговые, гражданские, промышленные, сельскохозяйственные объекты и декларированное новой градостроительной политикой развития мегаполисов подземное строительство). Новое строительство объектов большой площади обычно не предусматривает эффективных решений по естественному освещению при соблюдении требований к микроклимату помещений. Типовые решения светопроёмов (вертикальные окна, зенитные фонари, прозрачная кровля), обеспечивая нормативные требования к освещению, не решают задач оптимизации энергобаланса помещений и энергосбережения в инженерных сетях. Достойной альтернати-

[1] Адрес СТЦ «МЕГА Адыгея»: Республика Адыгея, Тахтамукайский район, аул Новая Адыгея

вой типовому светопроёму служит ГОК на базе ПТС, обладающий преимуществами по светотехническим и теплотехническим характеристикам [14–16]. Развитие и внедрение ССО на базе ГОК означает инновационный этап в развитии технологии качественного и энергоэффективного освещения. Каждый компонент ГОК одновременно и автономен, и взаимозависим от других, и, обладая потенциалом энергосбережения, вносит свой существенный вклад в эффективность комплекса:

- естественное освещение на основе ПТС – 50–75%;
- искусственное освещение высокой энергоэффективности на основе светодиодных источников света – 20–70%;
- система автоматического управления – 30–70%.

Обзор ССО и развитие концепции

В простейшем варианте ССО присутствует в любом помещении с визуальным выходом наружу, т.к. содержит, по крайней мере, два компонента: систему естественного света (вертикальные или верхние световые проёмы) и осветительную установку искусственного света (ОУ). Такие ССО функционируют в естественном природном световом ритме и их эффективность полностью зависит от параметров и качества светопроёмов, эффективности и рациональности режима использования ОУ. Для таких систем характерны низкая эффективность и нерациональное использование ОУ в силу случайного характера управления.

Примером первой попытки реализации ССО с автоматическим управлением можно считать вариант совмещения зенитных фонарей и светильников с люминесцентными лампами [3]. При очевидном несовершенстве такая осветительная система, тем не менее, даёт эффект энергосбережения и подтверждает перспективность концепции ССО.

Масштабный проект гелиостатно-световодной системы освещения рекреаций школы в г. Сент-Галлен, Швейцария, – система «*Heliobus*» – продемонстрировал значительные возможности ССО с автоматическим управлением в плане качества создаваемой световой среды и энергосбережения [1, 5, 6].

Развитие ПТС с их уникальными характеристиками обозначило новый этап в совершенствовании ССО. Известны несколько технических решений ГОК на базе ПТС «*LED+«Solarspot*» [10], «*Monodraught*» [11, 14] и «*Solatube M74 Smart LED*» [9]. Каждое из решений имеет свои достоинства и недостатки, но все они доказывают перспективность концепции интегрированных осветительных систем, важнейшие достоинства которых – практически полное отсутствие теплопотерь и теплопоступлений (неоспоримое преимущество перед типовыми решениями светопроёмов).

Применение таких ГОК, как «*LED+«Solarspot*» [10, 17], в освещении офисных помещений заметно снижает энергопотребление при практически полном отсутствии теплопотерь и теплопоступлений. Особенность конструкции ГОК «*LED+«Solarspot*» заключается в том, что его БИС состоит из светодиодов, размещённых на внешнем круговом контуре рассеивателя ПТС, (рис. 1). Недостатки «*LED+«Solarspot*» – их слепящее и, возможно, фототоксическое действие в офисных помещениях с относительно низкими потолками по причине большой габаритной яркости светодиодов, а также трудности обслуживания при установке на большой высоте. (Спецификация пяти модификаций ГОК «*LED+«Solarspot*» приведена в [10].)

ГОК «*Monodraught*» по конструктивному решению светодиодного БИС подобны ГОК «*LED+«Solarspot*», но благодаря применению светодиодных панелей «*LuxLoop*» (рис. 2) в них устранён слепящий эффект. Однако номенклатура ГОК «*Monodraught*» [11] ограничена диаметром световода 530мм, мощностью БИС 30 Вт и световым потоком менее 4000 лм, что сужает область применения этих ГОК в помещениях с высоким потолком.

Рис. 1. Гибридный осветительный комплекс «*LED+«Solarspot*» (диаметр световода 375 мм). Реализован в 2010 г. компанией *Solarspot International S.r.l.*

Описанные выше ГОК «*LED+«Solarspot*» и «*Monodraught*» обладают своеобразным дизайном, нравящимся не всем потребителям. При этом в зависимости от времени суток меняется геометрия светящего тела ГОК. Так, днём оно представляется центральным диском рассеивателя ПТС, а в тёмное время суток – светодиодным кольцом вокруг тёмного рассеивателя (рис. 2). В переходные периоды светящими частями служат центральный диск рассеивателя и охватывающее его кольцо БИС, переменная яркость которых находится в динамическом соотношении. Бывает заметен и общий недостаток этих ГОК – совмещённое освещение создаётся визуально различимым излучением двух раздельных источников света: ПТС и БИС, обладающих различными спектральными характеристика-

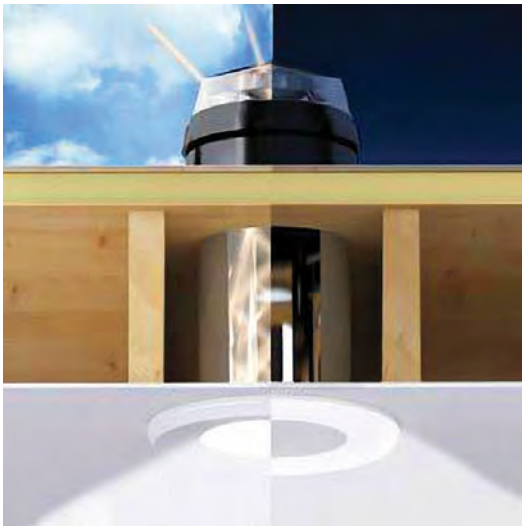


Рис. 2. ГОК «*Monodraught*». Показаны режимы работы в условиях светлого времени (день) (левая половина рисунка: через рассеиватель поступает естественный свет) и в тёмное время суток, когда излучает светодиодная панель (правая половина рисунка: рассеиватель ПТС в виде тёмного диска)

Рис. 3. Вводный узел ГОК на крыше СТЦ: *1* – коллектор; *2* – отражающая пластина «*LightTracker*™»; *3* – бордюрный флешинг; *4* – трос противоветровой нагрузки; *5* – бордюр

ми и яркостью. Кроме того, переход от естественного света к искусственному и обратно сопровождается значительными изменениями светораспределения ГОК, создавая непрерывно меняющуюся световую среду в помещении и дискомфорт. Видимо, эти недостатки и вызвали запрет или ограничения применения ССО в нормативных документах СП 251.1325800.2016 и СП 52.13330.2016.

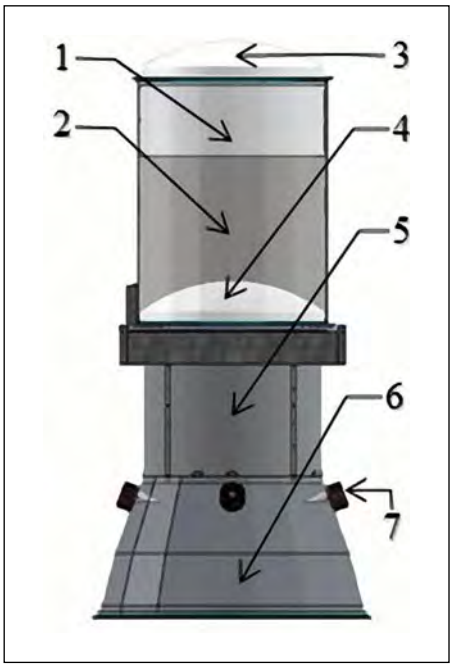


Рис. 4. Общий вид ГОК «*Solatube M74 Smart LED*» на основе ПТС «*Solatube® M74*»: *1* – коллектор; *2* – отражающая пластина «*LightTracker*™»; *3* – купол коллектора; *4* – купол световода; *5* – труба световода; *6* – коллиматор; *7* – светодиодный модуль, встроенный в коллиматор.
Параметры комплекса: высота коллектора – 1067 мм; диаметр трубы – 740 мм; диаметр рассеивателя – 949 мм; высота коллиматора – 600 мм; потенциальная длина трубы – до 30 м; высота установки – от 6–20 м; световой поток естественного света – 18–35 клм; световой поток блока искусственного света – до 9700 лм

ГОК «*Solatube M74 Smart LED*» [9] на базе ПТС «*Solatube®*» оптимален по конструкции как в плане модифицирования по светотехническим характеристикам и типоразмерам, так и в отношении дизайна. При этом полностью устранено слепящее и фототоксическое действие ГОК за счёт снижения влияния габаритной яркости светодиодов рассеивателем. В зависимости от параметров помещения могут использоваться ПТС «*Solatube®*» разного диаметра и, соответственно, БИС разной мощности. При этом особое внимание в плане создания мощных ГОК привлекает модель на основе ПТС «*Solatube® M74*» (диаметр трубы 740 мм) серии «*SkyVault*» [2], которую можно считать зенитным фонарём нового поколения, содержащим ряд прогрессивных решений, выгодно отличающих его от аналогов. Актуальность естественного освещения в зданиях с большими производственными площадями и высокими потолками предполагает применение высокоэффективных и мощных ССО.

Прогрессивные особенности конструкции ПТС «*Solatube® M74*» и, соответственно, ГОК «*Solatube M74 Smart LED*» – коллектор и коллиматор [9]. Коллектор (рис. 3 и 4), значительно расширяет зону захвата, увеличивая эффективность сбора света, и представляет собой цилиндр из прозрачного материала. В коллекторе на внутренней поверхности полуцилиндра размещена пластина «*LightTracker*™» с высокоотражающим покрытием «*Spectralight® Infinity*». Большие площадь отражающей пластины (1/2 площади внутренней боковой поверхности цилиндра) и объём оптического цилиндра коллектора втрое увеличивают сбор света по сравнению с системой без коллектора.

Конусообразный коллиматор ПТС «*Solatube® M74*» [2, 9] – удобное место для размещения БИС, представленного в конструкции ГОК «*Solatube M74 Smart LED*» четырьмя излучающими элементами, встроенными в пластины коллиматора (рис. 4 и 5).

В ГОК любой конструкции базовым элементом является ПТС, который представляет собой доведённый до совершенства законченный промышленный продукт. На основе анализа вариантов ГОК ведущих производителей в качестве аналога для разработки отечественного ГОК, «*Solar-LED*», нами был выбран ГОК «*Solatube M74 Smart LED*», а затем разработан проект реконструкции освещения СТЦ с помощью «*Solar-LED*».

Характеристика исходного состояния осветительной системы объекта

До реконструкции объект, площадью 1920 м^2, в основном освещался ОУ искусственного света с установленной мощностью 6,6 кВт, содержавшей колоколообразные светильники с МГЛ и создававшей среднюю освещённость ≤ 140 лк (рис. 6). Естественное освещение добавляло ≤ 20 лк и обеспечивалось 4-мя зенитными фонарями.

Техническое задание на проект реконструкции ОУ предусматривало: повышение средней совмещённой освещённости на уровне мола входной зоны магазина «Ашан» СТЦ до ≥ 300 лк (в дневное время преимущественно за счёт естественного освещения); поддержание в течение всего рабочего времени СТЦ постоянного уровня освещения посредством САУ; обеспечение хорошей цветопередачи (R_a > 80); повышение уровня энергоэффективности (относительно исходной ОУ на МГЛ) на ≥ 60%; повышение надёжности и долговечности.

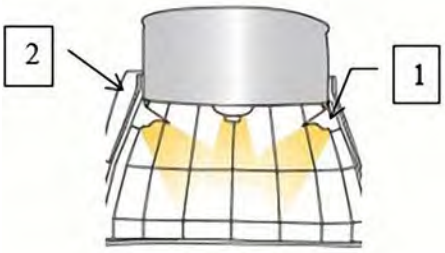


Рис. 5. Схема размещения четырёх излучающих элементов (светодиодных модулей) ГОК «*Solatube Smart LED*» на внутренней поверхности коллиматора и специальные прозрачные колпачки-линзы *1*, направляющие свет на плоскость рассеивателя. На внешней поверхности коллиматора *2* установлены блоки питания, управления и радиаторы охлаждения указанных элементов

Таблица 1

Проектные показатели ССО объекта

Показатель		Значение показателя
Расчётная установленная мощность, P_{OY}, кВт		макс. 9,45
Среднегодовая относительная удельная мощность# осветительной системы, $D_p \cdot 10^3$, Вт/(м^2·лк)		4,9
Среднегодовое значение коэффициента спроса мощности*		0,30–0,45
Электрическая мощность БИС ГОК, $P_{ГОКmax}$, Вт		макс. 500
Коэффициент мощности (cosφ) ГОК		0,95
Электрическая сеть питания		220/380 В, 50 Гц
Управляемость ГОК (диапазон изменения светового потока),%		(0–10) – 100 совместим с САУ
Эффект энергосбережения**,%		≥ 60
Световой поток комплекса	ПТС (естественный), лм	макс. 35000
	светодиодный БИС (искусственный), лм	макс. 49000
	ПТС + БИС + САУ*** (совмещённый), лм	≥35000
Средняя освещённость объекта	ПТС (естественная), лк	≥300
	светодиодный БИС (искусственная), лк	≥300
	ПТС + БИС + САУ*** (совмещённая), лк	≥300
Качество цветопередачи в режиме БИС, R_a / T_c		> 80 / 3500–4000 *K*
Срок службы, лет/ч	ПТС	30
	светодиодный БИС	10 / 50000
Гарантийный срок эксплуатации, лет	ПТС	10
	светодиодный БИС	5
Степень защиты БИС от воздействия внешней среды, *IP*		42
Диапазон рабочих температур, ˚*C*		-20 – +40
Применимость для аварийного освещения		да
Ремонтопригодность ГОК****		высокая
Режим управления		автоматический

Примечания:
** Благодаря использованию естественного света коэффициент спроса мощности в системе освещения = 0,30–0,45, поэтому потребляемая мощность снижается более чем вдвое относительно исходного состояния ОУ до реконструкции; ** сравнение с ОУ со светильниками с МГЛ; *** в периоды снижения естественной освещённости ниже 300 лк; **** ГОК имеет блочную структуру; согласно табл. 2.*

Проектное решение

Устранение недостатка ССО объекта было достигнуто с помощью 18-ти ГОК «*Solar-LED*» (рис. 7). Структурно ГОК объединяет ПТС «*Solatube® M74*», светодиодный БИС заданной мощности, САУ (включая датчик освещённости, контроллер, управляемый блок питания светодиодных модулей) и арматуру для монтажа ГОК и крепления функциональных блоков вокруг коллиматора (рис. 8). В табл. 1 приведены проектные параметры ССО объекта.

Показатель энергоэффективности ССО на базе ГОК

Введение параметра, позволяющего оценивать экономичность осветительной системы, обусловлено актуальностью выполнения технико-экономических расчётов для ССО на стадии проектирования с целью принятия обоснованных решений, особенно учитывая то обстоятельство, что в опубликованных работах [1–8], посвящённых ГОК, не обсуждаются параметры, с помощью которых можно оценивать энергоэффективность (экономичность) ССО. Это обычная ситуация, возникающая, как правило, при описании инновационных продуктов или технологий, когда приходится отходить от общепринятых терминов и определений. Связано это с тем, что общепринятый показатель оценки

Рис. 6. Осветительная система до реконструкции – постоянно действующая ОУ искусственного света. Источники света – МГЛ ВД

энергоэффективности осветительного прибора «световая отдача» в полной мере не описывают всех инновационных свойств продукта. ССО и её компонент ГОК как раз относятся к категории таких новых продуктов в области светотехники.

В этой связи для оценки энергоэффективности предлагается адаптировать к внутреннему освещению показатель относительной удельной мощности установки утилитарного наружного освещения в соответствии с СП 52.13330.2016. Формулу для расчёта среднегодовой относительной удельной мощности ССО на базе ГОК с учётом специфики функционирования компонентов можно записать как

$$D_p = P_н \cdot K_{сп} / (E_н \cdot A),$$

где D_p – среднегодовая относительная удельная мощность ССО на базе ГОК Вт/(м^2·лк); $P_н$ – номинальная мощность ССО на базе ГОК Вт; $K_{сп}$ – среднегодовой коэффициент спроса мощности светодиодного БИС; $E_н$ – нормируемая освещённость на рабочей поверхности (имеет постоянное значение, поддерживаемое на заданном уровне САУ), лк; A – площадь освещаемой поверхности, м^2.

Величина $K_{сп}$ определяется как

$$K_{сп} = (1/T)\int_0^t k_{сп}(\tau)d\tau,$$

где $k_{сп}$ – меняющийся во времени коэффициент спроса мощности светодиодного БИС, зависимый от уровня естественного освещения объекта и задаваемый САУ в пределах от 0 до 1; t – продолжительность использования искусственной составляющей ССО в течение повторяющегося временного цикла, ч; T – продолжительность использования ССО в течение повторяющегося временного цикла, ч.

Методика расчёта предполагает определение годового светового ресурса естественного света на территории расположения объекта по данным метеонаблюдений, представляющих статистику естественного компонента, его изменения во времени и задающих график эксплуатации искусственного компонента ГОК. В табл. 2 приведены параметры для расчёта среднегодовой относительной удельной мощности для описанного объекта (в СТЦ «МЕГА Адыгея») для различных осветительных систем.

Реализация проекта ССО на базе ГОК

В декабре 2016 г. реконструированная ССО, с достигнутыми проектными параметрами, вошла в эксплутацию (рис. 7). Параметры световой среды объекта (на апрель 2017 г.): средняя горизонтальная освещённость $E_{ср}$ = 493 лк и коэффициент равномерности освещённости $E_{мин}/E_{ср} \geq 0{,}4$. В течение дня естественная $E_{ср}$ при ясной погоде составляла ≥ 400 лк. САУ отслеживала изменения естественной $E_{ср}$ снаружи в зависимости от погоды и времени суток, поддерживая проектный уровень $E_{ср}$ для совмещённого освещения в помещении СТЦ ≥ 300 лк. Вводный узел и внешний вид ГОК с элементами монтажа, общий вид на крышу СТЦ (с установленными коллекторами и ГОК), соответственно, показаны на рис. 3, 8 и 9.

САУ ССО функционально разбита на 7 групп (в группе – от 2 до 4 ГОК) по принципу зонирования освещаемой площади. Внутри групп осуществляется групповое управление. САУ каждой группы состоит из датчика освещённости *DALI-MSensor 02 5DPI 41rs* (с дистанционным управлением), контроллера и управляемых блоков питания светодиодных модулей БИС ГОК. Настройка САУ выполняется для группы ГОК с помощью радиосвязи после монтажа осветитель-

Рис. 7. Вид зала после реконструкции осветительной системы с помощью ГОК «*Solar-LED*»

Таблица 2

Пример расчёта D_p для различных осветительных установок

Тип ОУ	$P_н$, кВт	$K_{сп}$	$E_н$, лк	A, м^2	T, ч	t, ч	$D_p \cdot 10^3$, Вт/(м^2·лк)
ССО на базе ГОК	9,45	0,3	300	1920	4380	1230	4,9
ОУ со светильниками со светодиодами	12,6	1				4380	21,8
ОУ со светильниками с МГЛ	16,5						28,6
ОУ со светильниками с ЛН	137,5						238,7

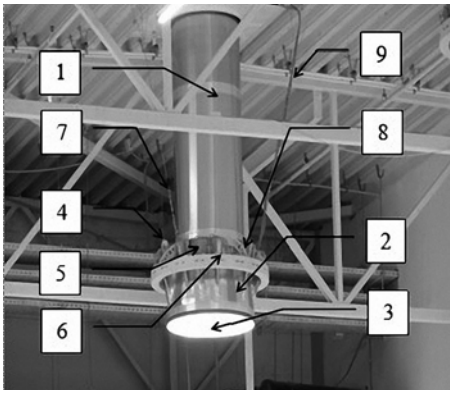


Рис. 8. ГОК «*Solar-LED*» в СТЦ
1 – ПТС «*Solatube® M74*»; *2* – коллиматор; *3* – светящий диск рассеивателя; *4* – датчик освещённости; 5 – блок питания светодиодного модуля; 6 – монтажное кольцо; *7* – трос подвеса; *8* – рёбра жёсткости и связи коллиматора с монтажным кольцом; *9* – кабели питания и управления

Рис. 9. Общий вид на крышу (кровлю) СТЦ

ной системы. После включения ОУ САУ приходит в состояние равновесия, при котором обеспечивается постоянный нормированный уровень освещения объекта.

Для обеспечения помещения улучшенными системами аварийного и эвакуационного освещения в их действующие схемы включены три ГОК. В светлое время суток ПТС ССО обеспечивают комфортные условия освещения в аварийных ситуациях с электроснабжением СТЦ.

Энергосберегающий эффект создаётся за счёт большей, чем у светильников с МГЛ, световой отдачи светодиодного БИС и снижения коэффициента спроса мощности ОУ (табл. 2) благодаря эффективному использованию естественного света.

Выполненный сравнительный анализ[2] ССО на базе ГОК и типовых решений светопроёмов верхнего естественного освещения для реализованного проекта в СТЦ «Мега Адыгея» показал более высокие свето- и теплотехнические характеристики ГОК и бесспорное преимущество их применения как в тёплый период года (малые теплопритоки от солнечного излучения), так и в холодный (слабые тепловые потери).

В процессе реализации пилотного проекта ССО на базе ГОК приобретён богатый опыт конструирования и монтажа гибридной системы освещения, позволивший разработать новый типоряд ГОК[3], свободных от выявленных недостатков комплексов. При этом к наиболее существенному недостатку реализованной ССО можно отнести яркое свечение коллекторов из-за высокого уровня отражённого «обратного» света (по расчётам – около 22%), который является индикатором несовершенства оптического тракта БИС. Другой недостаток этой ССО – серьёзные трудности монтажа и обслуживания ГОК при большой высоте установки рассеивателей, БИС и САУ.

Заключение

Предложенное в настоящей работе концептуальное решение структурного построения ССО на базе ГОК обладает преимуществами перед традиционными системами общего искусственного освещения и типовыми светопроёмами верхнего естественного освещения. Высокий уровень параметров и комплексность решения создают предпосылки к широкому внедрению ГОК в системы освещения объектов, где главными показателями качества систем освещения являются световой комфорт и энергосбережение. На основе анализа вариантов ГОК ведущих производителей в качестве аналога для отечественного ГОК был выбран ГОК «*Solatube M74 Smart LED*», по принципу устройства которого создан отечественный ГОК «*Solar-LED*» и разработан проект освещения помещения в СТЦ «Мега Адыгея». Реализация проекта подтвердила основные проектные параметры системы освещения, а выявленные недостатки позволили сформулировать принципы конструирования новых типов ГОК.

Авторы проекта ССО в СТЦ «Мега-Адыгея» выражают благодарность руководящей международной корпорации «ИКЕА» за предоставленную возможность его реализации, а также благодарят Ю.Б. Айзенберга и А.А. Коробко за конструктивное обсуждение материала статьи.

[2] Полному технико-экономическому обоснованию применения ГОК как альтернативы типовым традиционным светопроёмам посвящена отдельная статья авторов, которая выйдет в одном из ближайших номеров журнала.

[3] Авторы готовят к публикации в журнале статью о новых модификациях ГОК высокой эффективности, их классификации и универсальности монтажа и эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Aizenberg J.B.* Hollow Light Guides. – Moscow: Znack Publishing House, 2009. – 208 p.
2. *Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н.* Технология *Solatube*®: перспективы в архитектуре и строительстве в России // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 35–40.
3. *Бронс Д. А., Лесли Р.П.* Интегрированные фонари верхнего света: комбинация естественного и искусственного освещения в целях энергосбережения // Светотехника. –2002. – № 6. – С. 33–37.
4. *Мингоцци А., Боттиглиони С., Касалоне Р.* Комбинированная осветительная установка «Arthelio» с полыми световодами // Светотехника. – 2002. – № 1. – С. 18–22.
5. *Айзенберг Ю. Б., Буоб В., Зигнер Р., Коробко А.А., Пятигорский В.М.* Гелиостатно-световодная система освещения рекреаций школы // Светотехника. – 1996. – № 8. – С. 8–25.
6. *Айзенберг Ю. Б., Буоб В., Майсен Т.* Гелиостатно-световодная система освещения рекреаций школы // Светотехника. – 2002. – № 4. – С. 24–25.
7. *Айзенберг Ю.Б.* Интегральные системы освещения помещений без достаточного естественного света // Светотехника. – 2003. – № 1. – С. 22–28.
8. *Овчаров А.Т.* Гибридные светильники совмещённого освещения с системой автоматического управления // Электронные информационные системы. – 2015. – № 4(7). – С. 22–34.
9. Гибридная система освещения Solatube® M74 Smart LED//СОЛАР: магический свет. [Сайт компании]. Cop. 2004–2015. URL: http://www.solatube.su/katalog-modeley-solatube-i-solar-star/zenitnyie-fonari-novogo-pokoleniya-sistemyi-solnechnogo-osveshheniya-solatube-m74-skyvault/ (дата обращения: 15.09.2017).
10. Solarspot® LED systems – Intelligent Lighting Solutions// SOLARSPOT: Tubular Daylighting Systems. [Company website]. Cop.2017 URL: http://solarspot.it/en/products-comm/solarspot-led-systems (дата обращения: 15.09.2017).
11. Delivering healthy natural light inside// Monodraught Ltd. [Company website]. Cop.2017 URL: https://www.monodraught.com/products/natural-lighting (дата обращения: 15.09.2017).
12. ГОСТ Р 55392–2012 «Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения».
13. ГОСТ Р 54814–2011/IEC/TS 62504:2011 «Светодиоды и светодиодные модули для общего освещения. Термины и определения».
14. *Пейн Т.* Развитие полых световодов в Великобритании // Светотехника. – 2004. – № 3. – С. 39–45.
15. *Соловьёв А.К.* Сравнительный теплотехнический расчёт систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 2. – С. 24–35.
16. *Соловьёв А.К.* Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // Светотехника. – 2011. – № 5. – С. 41–47.
17. *Кузнецов А. Л., Оселедец Е.Ю., Соловьёв А.К., Столяров М.В.* Опыт применения полых трубчатых световодов для естественного освещения в России // Светотехника. – 2011. – № 6. – С. 4–11.

Овчаров Александр Тимофеевич, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1966 г. Томский институт радиоэлектроники и электронной техники. Профессор кафедры «Архитектурное проектирование» ТГАСУ. Директор ООО «Световые системы». Действительный член МАНЭБ. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»*

Селянин Юрий Николаевич, *инженер. Окончил в 1973 г. Таганрогский радиотехнический институт, в 1981 г. Военную академию им. Ф.Э. Дзержинского и в 1992 г. адъюнктуру при ней. Генеральный директор ООО «СОЛАР», официального дистрибьютора технологии «Solatube® Daylighting Systems» на территории РФ, Беларуси и Казахстана*

Анцупов Ярослав Валерьевич, *магистр электроэнергетики и электротехники. Окончил в 2017 г. Томский политехнический университет (ТПУ). Инженер ООО «Световые системы». Аспирант 1-го года обучения НИ «ТПУ»*

Церковь Воскресения Христова получила величественный вечерний образ

В преддверии Рождества Христова СПб ГУП «Ленсвет» завершило работы по строительству стационарного художественного освещения церкви Воскресения Христова в Адмиралтейском районе. Церковь находится на набережной Обводного канала рядом с Варшавским вокзалом.

При архитектурно-художественном освещении сложный силуэт и масштабность общего объёма храма выделяется мало-

мощными 134 осветительными приборами заливающего света, установленными на 6 металлических опорах освещения вокруг церкви. Прожекторы нацеливаются на силуэт церкви, фасадные иконы, главы, барабан и кресты.

Сегодня величественное архитектурное сооружение из коричневого камня украшает вечерний вид набережной Обводного канала. Реализованный проект создаёт уникальный облик храма, возведённого в русско-византийском стиле. Во внешнем облике читаются строгость линий и геометрических форм классического стиля и, в то же время, утончённость барокко с его лепнинами и художественными изысками.

Реализованный проект продолжил традицию «Ленсвета» по созданию вечернего облика храмов Санкт-Петербурга в преддверии новогодних праздников. Годами ранее СПб ГУП «Ленсвет» в качестве подарка петербуржцам оформило светом Князь-Владимирский и Троице-Измайловский соборы.

Работы выполнены в рамках многолетнего плодотворного сотрудничества города и ПАО «Газпром» при содействии СПб ГУП «Ленсвет», подведомственного Комитету по энергетике и инженерному обеспечению, и Ассоциации «Невский свет». Проектно-изыскательские и строительно-монтажные работы реализованы компаниями «Кандела» и «КСК-ЭлектроПроект».

lensvet.spb.ru
28.12.2017

О логике технического регулирования в области освещения

ИНЮЦЫН А.Ю., МЕЛЬНИКОВ Д.А.

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

Аннотация

В статье разъясняется политика в сфере повышения энергосбережения в области освещения, проводимая Министерством энергетики Российской Федерации в 2015–2017 гг. и проанализирована логика технического регулирования этой области на примере нормотворческой деятельности правительства. Авторами подробно рассмотрены ключевые положения законодательных актов, касающихся сферы регулирования энергетической эффективности и качества осветительных приборов и источников света в России в указанный период.

Ключевые слова: энергосбережение, Министерство энергетики, постановления Правительства Российской Федерации, энергосбережение в сфере освещения

В настоящее время происходит стремительное развитие технологий в области освещения. На этом фоне динамично меняется и нормативная база. Только за последние два года принят целый пакет нормативных актов [1–7], направленных на стимулирование перехода к новым источникам света, завершающим и наиболее значимым из которых стало постановление Правительства Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1356.

В целом активная роль государства как регулятора в формировании рынка совпадает с позицией отраслевых экспертов. Редакцией журнала «Светотехника» была проведена заочная дискуссия [8–9], в ходе которой большинство экспертов высказались за то, что государство должно активно участвовать в формировании рынка светотехнической продукции с теми или иными ограничениями. Такова же в целом и практика большинства не только развитых, но и развивающихся стран.

Совершенно другая ситуация сложилась вокруг оценки содержания принятых нормативных актов.

В ходе подготовки и согласования актов, разработчиком которых выступило Минэнерго России, а также после их принятия было получено достаточно большое количество критических замечаний. Несмотря на принятые усилия по широкому предварительному обсуждению принимаемых мер технического регулирования и желание добиться широкого консенсуса и поддержки приходится констатировать, что значительная часть этих замечаний связана с непониманием общей логики, заложенной в принятые нормативные правовые акты.

В настоящее время запущен заранее запланированный процесс корректировки постановления № 1356, которое является основным документом, определяющим требования к источникам света общего назначения. Содержание изменений также планируется широко обсудить с участниками рыка и научным сообществом. В то же время целесообразным представляется разъяснить логику, в рамках которой были разработаны уже принятые нормативные акты, и которой планируется придерживаться при корректировке.

Такой шаг представляется тем более целесообразным в связи с тем, что в профильных документах стратегического планирования существующий подход и стоящие перед страной задачи по переходу на энергоэффективное освещение не описаны.

Некоторые оценки и вопросы отражены в государственном докладе об энергосбережении и повышению энергетической эффективности (на нужды освещения в стране тратится более 100 млрд кВт*ч, более 10 % полезного отпуска всей электрической энергии), а вот в Стратегии развития жилищно-коммунального хозяйства в Российской Федерации до 2020 года этот вопрос вообще не упоминается.

Одним из наиболее часто звучащих замечаний является то, что заложенные в постановлении № 1356 минимальные требования к световой отдаче современных источников света зачастую не отражают современный уровень развития технологий.

В связи с этим хотелось бы отметить, что принятые нормативные акты, включая постановление № 1356, не являются актами модернизационного технического регулирования. Под модернизационным подходом понимается задание на перспективу таких параметров товаров, которые требуют разработки новых образцов, качественного или значимого улучшения показателей существующей на рынке продукции, связанной с этим модернизации отрасли и т.п. Примером такого подхода является переход на автомобильное топливо стандарта Евро-5, что потребовало существенной модернизации российских нефтеперерабатывающих заводов.

Такой подход при разработке постановления № 1356 даже не планировался по нижеследующим причинам.

1. Для реализации такого подхода необходимо:

- иметь качественную оценку возможности производителей осуществить необходимые для модернизации инвестиции или возможность и готовность заместить запрещаемую продукцию импортом;
- готовность государства оказать при необходимости поддержку производителям в привлечении инвестиций на модернизацию.

2. Основной альтернативой для ограничиваемых (запрещаемых) источников света являются источники на основе светодиодов. Динамика развития светодиодных технологий настолько стремительна, что источники, которые ещё три года назад были современными, сегодня уже рассматриваются как вполне заурядные. И поскольку технологии продолжают развиваться, завтра они в свою очередь будут рассматриваться как устаревшие. Задание требований к будущим параметрам на основе прогноза развития связано со значительными рисками и возможно только при наличии эффективной системы научно-технического прогнозирования

развития светотехники и отраслевого прогноза развития, пользующихся широким доверием.

3. Попытка задания таких показателей на основе прогноза, несомненно, стала бы причиной серьёзных дискуссий и противодействия со стороны производителей, не готовых к выходу на задаваемые показатели. Это с высокой вероятностью привело бы к существенной задержке сроков выхода документа или даже отказу от его принятия.

Также в документе не затронуты лампы накаливания, хотя с точки зрения экономии энергоресурсов именно вытеснение этих ламп могло бы дать самую значительную экономию. Причиной является высокая социальная чувствительность данной темы.

Поэтому с самого начала разработки постановления № 1356 основной задачей было определено поэтапное выведение из оборота самых неэффективных и неэкологичных массовых источников света (кроме ламп накаливания), с заменой их на более современные альтернативы, прежде всего – светодиодные. Задавать напряжённые показатели энергоэффективности для светодиодных источников не планировалось. Значительным шагом в регулировании можно считать сам тот факт, что впервые были установлены такие требования к светодиодным светильникам, которые ранее вообще никак не регламентировались.

В качестве таких устаревших массовых источников света были определены следующие:

– ртутные лампы низкого давления (ДРЛ, ДРВ);

– натриевые лампы первого поколения;

– компактные люминесцентные лампы;

– трубчатые люминесцентные лампы первого поколения (с люминофором галофосфат кальция).

В качестве фактологической основы для разработки нормативного правового акта в значительной степени использовались данные доклада «Анализ технологического потенциала светотехнической промышленности в Российской Федерации», подготовленного по заказу проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ при поддержке Минпромторга России в 2016 году [10].

При разработке постановления № 1356 также были рассмотрены ещё два важных вопроса.

Во-первых, вопрос о своевременности его издания. Несмотря на то, что предыдущие требования, содержащиеся в постановлении Правительства Российской Федерации № 602 [11], безусловно, устарели, как уже указывалось выше, светодиодные технологии находились (и находятся сейчас) на этапе развития. Поэтому переход на новые технологии в этот переходный период создаёт риск того, что на смену устаревшим и неэкономичным источникам на длительный срок придут новые источники, но эти источники сами очень быстро окажутся устаревшими, а, возможно, и не будут обеспечивать необходимое качество освещения и потреблять избыточное количество энергоресурсов в течение длительного времени.

Во-вторых, ситуация с качеством продукции. При поддержке АПСС были собраны данные о результатах лабораторных испытаний светодиодных светильников в ведущих испытательных лабораториях. Кроме того совместно с редакцией журнала «Светотехника» в 2015 году при поддержке проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения» и Минпромторга России была проведена независимая оценка качества светотехнической продукции со светодиодами (по модели программы *CALiPER* Минэнерго США). В рамках оценки была проведена закупка и тестирование случайных образцов светодиодных источников света (преимущественно ламп) [12].

Полученные результаты позволили получить объективную оценку доли продукции ненадлежащего качества (около 90 %), а также основные причины этого (какие параметры не соответствовали).

По мнению авторов, такие результаты связаны с тем, что рынок находится в состоянии трансформации, по окончании которой пройдёт консолидация рынка и уход с него игроков, выпускающих некачественную продукцию.

Указанные выше обстоятельства создавали серьёзные предпосылки к тому, чтобы не торопиться с переходом на новые технологии, а дождаться выхода светодиодных технологий на плато и перехода рынка на более зрелый уровень. Период ожидания можно было бы использовать для реализации пилотных проектов, оценку их результатов, формирование качественного методического обеспечения и подготовку (обучение) специалистов.

Значимым фактором в пользу ускоренного отказа от использования ртутных ламп стали данные, собранные в ходе реализации демонстрационных проектов по модернизации освещения в школах в рамках указанного выше проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ, которые будут изложены в отдельном материале. Краткой характеристикой полученной оценки можно считать, что по ряду причин существующий уровень эксплуатации традиционных систем освещения на основе люминесцентных ламп наносит существенный ущерб не только бюджету, но и здоровью школьников.

В завершение хотелось бы отметить, что продолжающееся развитие современных энергоэффективных технологий предполагает, что в среднесрочной перспективе будет предпринят новый цикл технического регулирования, в ходе которого произойдёт не только актуализация требований, связанных с технологическим развитием, но и общее повышение качества актов технического регулирования. Вероятно, опыт, полученный при подготовке постановления № 1356 станет основой для разработки соответствующего раздела Технического регламента Таможенного союза «Об энергетической эффективности электрических энергопотребляющих устройств», который должен заменить национальные акты технического регулирования в странах ЕврАЗЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 10.11.2017 № 1356. – Режим доступа: Система Гарант

2. О внесении изменений в пункт 7 Правил установления требований энер-

гетической эффективности товаров, работ, услуг при осуществлении закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 28.08.2015 № 898. – Режим доступа: Система Гарант

3. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд и нужд отдельных видов юридических лиц [Электронный ресурс]: Федеральный Закон от 03.07.2016 № 321 // Российская газета. – 2016. – № 7017 (149). – Режим доступа: https://rg.ru/2016/07/08/zakupka1-dok.html – (Дата обращения: 14.12.2017)

4. О внесении изменений в Правила установления требований к программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций, осуществляющих регулируемые виды деятельности [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 27.09.2015 № 971. – Режим доступа: Система Гарант

5. О внесении изменения в пункт 6 требований энергетической эффективности товаров, используемых для создания элементов конструкций зданий, строений, сооружений, в том числе инженерных систем ресурсоснабжения, влияющих на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений, утверждённых приказом Минэкономразвития России от 4 июня 2010 г. № 229 [Электронный ресурс]: приказ Минэкономразвития России от 09.06.2016 № 362. – Режим доступа: Система Гарант

6. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам установления первоочередных требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 07.03.2017 № 275. – Режим доступа: Система Гарант

7. Об утверждении СП 52.13330 «СНиП 23–05–95* Естественное и искусственное освещение» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]: Приказ Минстроя России от 7 ноября 2016 г. N777/пр. – Режим доступа: Система Гарант

8. *Айзенберг Ю.Б.* О методологии обновления номенклатуры выпускаемых изделий. // Светотехника. – 2017. – № 6. – С. 89.

9. Ответы на вопросы, поставленные в статье Ю.Б. Айзенберга. // Светотехника. – 2017. – № 6. – С. 90–96.

10. Анализ технологического потенциала светотехнической промышленности в Российской Федерации. – Москва: Программа Развития Организации Объединённых Наций (ПРООН), 2016. – 78 с.

11. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 20.07.2011 № 602. // Российская газета. – 2011. – № 5541 (165). – Режим доступа: https://rg.ru/2011/07/29/energo-dok.html. – (Дата обращения: 14.12.2017)

12. *Шаракшанэ А.С.* Отчёт о выполнении проекта «Проведение независимой проверки качества светотехнической продукции». // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 69.

Инюцын Антон Юрьевич. *Кандидат юридических наук. В 2002 г. окончил НИУ «ВШЭ» по специальности «Финансы и кредит». С 2012 г. – заместитель Министра энергетики Российской Федерации, в 2012–2017 г. – национальный директор проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения»*

Мельников Дмитрий Александрович. *В 2001 г. окончил Омский государственый университет по специальности «Правоведение», с 2012 г. – сотрудник Министерства энергетики Российской Федерации, в 2012–2017 г. – заместитель национального директора проекта Минэнерго России/ПРООН/ГЭФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения»*

Почёт и признание поколений

В декабре 2017 года Фонд развития НИУ «МЭИ» наградил шеф-редактора журнала «Светотехнинка» проф. Ю.Б. Айзенберга дипломом «Почёт и признание поколений» с формулировкой «за большой вклад в подготовку и воспитание специалистов-энергетиков». Редакция журнала поздравляет Юлиана Борисовича с заслуженной наградой и желает ему дальнейших успехов в важной деятельности в области воспитания новых поколений светотехников!

Научно-практическая конференция «Свет в музее»

18 – 20 апреля 2018 года в Санкт-Петербурге в Государственном Эрмитаже состоится первая научно-практическая конференция по вопросам музейного освещения «Свет в музее». Организаторами конференции выступят Государственный Эрмитаж, ВНИСИ им. С.И. Вавилова и Научно-технический совет светотехнической отрасли «Светотехника» при поддержке Российского комитета Международного совета музеев (ИКОМ России).

В программе конференции – пленарные и секционные доклады по актуальным вопросам музейной световой среды, влиянию света и освещения на музейные предметы, применения современных источников света, в том числе и светодиодов, контролю качества и безопасности работы осветительной техники в музеях, актуализации отраслевых документов.

С докладами на конференции выступят представители музейного и светотехнического сообщества, приглашённые российские и иностранные специалисты в области музейного освещения: светотехники, светодизайнеры и музейные хранители. В рамках мероприятия также пройдёт расширенное заседание научно-технического совета светотехнической отрасли, участники и гости которого обсудят наиболее перспективные на сегодня научно-исследовательские работы в области светотехники, а также направления дальнейшей работы отрасли.

Среди приглашенных докладчиков — глава *CBL "Cannon-Brookes Lighting"* и один из экспертов Международного Совета музеев (ИКОМ) Стивен Кэннон-Брукс, светодизайнеры и владельцы компании *"Consulino"* Франческо Ианноне и Сирена Теллини, Президент-Элект и руководитель 2-го Отделения МКО Питер Блатнер, Президент международного комитета архитектуры и музейных технологий ИКОМ Жан Хильгерсом, представитель международной ассоциации IALD и генеральный директор немецкой компании *LichtKunstLicht AG* Андреас Шульц.

Программа конференции и онлайн-регистрация будут доступны на сайте http://svet-v-muzee.nts-svet.ru с 28 февраля 2018 года.

BL Group

Международная светотехническая корпорация

БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

Лидер светотехнической отрасли России

- Проектирование и дизайн
- Разработка и конструирование световых приборов
- Разработка программного обеспечения
- Производство
- Строительно-монтажные и пусконаладочные работы
- Управление освещением
- Эксплуатационное обслуживание
- Сбыт световых приборов и металлоконструкций

Россия, г. Москва, проспект Мира, д. 106

bl-g.ru

(485) 785-37-40

Результаты исследований пространственной структуры излучения атмосферы в спектральном диапазоне 1,5–2 мкм

*А.М. МИЩЕНКО [1 *], С.С. РАЧКОВСКИЙ [2], В.А. СМОЛИН [2], И.В. ЯКИМЕНКО [2]*

[1] Военная академия войсковой ПВО ВС РФ имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского (ВА ВПВО ВС РФ)

[2] Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск

[*] E-mail: kycu@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований пространственной структуры излучения неоднородностей атмосферного фона и объекта обнаружения – беспилотного летательного аппарата, а также рассмотрен вопрос о возможности его обнаружения с помощью оптико-электронных систем на фоне облачного поля в ближнем ИК диапазоне длин волн.

Ключевые слова: оптико-электронные системы, экспериментальные исследования, пространственная структура излучения неоднородностей, атмосфера, ИКдиапазон.

Последние публикации по исследованию излучения облачных полей атмосферы касаются среднего (3–5 мкм) и дальнего (8–13 мкм) ИК диапазонов длин волн (ДДВ) [1–5]. В ряде зарубежных источников приведены данные космических исследований в ИК области спектра по составу атмосферы и предсказанию погоды [6–10]. Данные же по излучению атмосферы в ДДВ 1,5–2 мкм в публикациях практически отсутствуют, тормозя решение актуальной задачи обнаружения беспилотных воздушных судов (БВС) пассивными оптико-электронными системами.

В связи с этим авторами разработана методика экспериментальных исследований пространственной структуры излучения неоднородностей атмосферы в ДДВ 1,5–2 мкм при различных типах облачности. Эти исследования проводятся в два этапа:

- фиксация (измерение) флуктуации энергетической яркости (ЭЯ) атмосферы в средней полосе России в зимне-весенний период в утренние часы;
- обработка результатов в интересах получения статистических моделей, описывающих закономерности пространственной структуры флуктуации ЭЯ облачных полей.

Для фиксации флуктуации ЭЯ облачных полей разработан измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), основным элементом которого является радиометр на ДДВ 1,5–2 мкм [11], содержащий: объектив (телескоп Кассегрена); вращаемый обтюратор, приводимый в движение с помощью шагового двигателя; интерференционный фильтр, имеющий полосу (ДДВ) пропускания 1,5–2 мкм; фоторезистор (на основе *PbS*); электронную часть (предусилитель, масштабный усилитель, фильтр нижних частот, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, флеш-память).

Для оценки параметров радиометра проведены калибровочные работы с целью: определения мгновенного поля зрения; построения градуировочных вольт-температурных характеристик; построения градуировочных вольт-ватных характеристик и определения коэффициентов передачи каналов радиометра; оценки пороговой чувствительности; оценки ожидаемых погрешностей измерений.

В результате проведённых работ определены следующие характеристики радиометра: ширина поля (20′ × 20′); градуировочная вольт-температурная характеристика; вольт-ватная характеристика; спектральная характеристика в ДДВ 1,55–1,93 мкм; коэффициент передачи канала радиометра ($5{,}324 \cdot 10^7$ В·см^2·ср/Вт); пороговая чувствительность по ЭЯ ($6{,}411 \cdot 10^{-10}$ Вт/(см^2·ср)); погрешность измерения ЭЯ (10 %).

Управление шаговыми двигателями обтюратора и зеркалом сканирующей системы (рис. 1) осуществляется микроконтроллером. Команды, через цифровые входы (выходы) последнего, поступают в блок управления. Сектор сканирования выбранного фрагмента атмосферного фона (растра) обеспечивается в пределах до 40º по азимуту и 10–50º по углу места. Сканирующее зеркало обеспечивает проход одной строки кадра в выбранном фрагменте атмосферного фона за 5 с. За это время через каждые 30′ регистрируется 80 значений ЭЯ этого фона. По завершении сканирования строки кадра подаётся сигнал на шаговый двигатель, зеркало меняет угол наклона на 1° и сканирование повторяется в обратном направлении. Через заданное число шагов (строк) шаговые двигатели возвращают сканирующее зеркало в исходное начальное положение, происходит запись отснятого кадра на съёмный флеш-носитель, цикл повторяется и записывается следующий кадр.

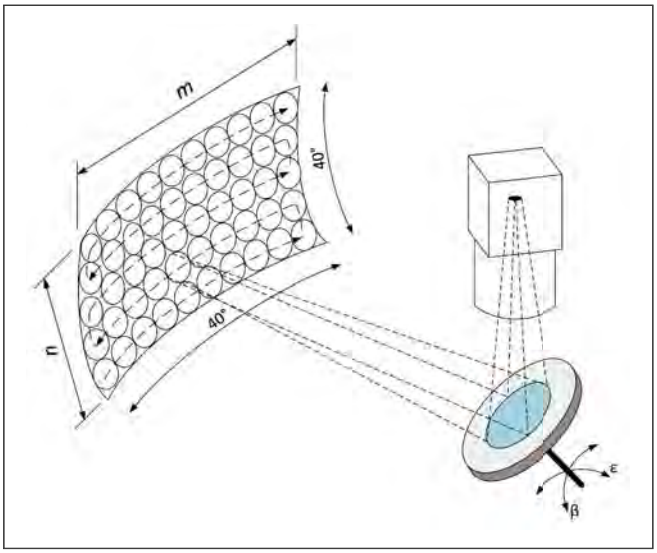


Рис. 1. Схема сканирования облачного поля

Статистическая обработка результатов измерений флуктуаций ЭЯ облачного поля проводилась по окончании серии измерений, состоящей в создании пачки кадров (растров), в среднем по 30 шт. Всего было исследовано 9 типов облачных полей в дневных условиях: кучевой (Cu) 1–3 балла – 87 шт.; кучевой (Cu) 4–6 баллов – 91 шт.; кучевой (Cu) 7–9 баллов – 93 шт.; слоисто-кучевой (Sc) – 84 шт.; высококучевой (Ac) – 73 шт.; перисто-кучевой (Cc) – 85 шт.; слоистый (St) – 123 шт. и перисто-слоистый (Cs) – 118 шт., ясного неба – 117 шт. Итого получен 871 кадр облачных полей.

Любой такой кадр представляет собой фоновое изображение (ФИ) в виде двумерного массива, каждый элемент которого содержит информацию об уровне ЭЯ облачного поля в выбранном направлении. Массивы ФИ можно представлять совокупностью строк и столбцов (матрично), изображением в оттенках серого или в виде потенциального рельефа, отражая этим пространственную структуру излучения неоднородностей атмосферы.

Обработка полученных ФИ проводится с целью получения статистических моделей, описывающих закономерности пространственной структуры флуктуации ЭЯ облачных полей атмосферы. Результаты обработки ФИ показали, что из-за зависимых от метеоусловий термодинамических и турбулентных атмосферных процессов формируются излучающие неоднородности облачных полей атмосферы, имеющие свои угловые размеры и зависящие от вида и балла облачности, метеорологической ситуации и времени суток.

Результаты накапливаются после обработки пачками кадров ФИ разных типов облачных полей и представляются матрично или в виде потенциального рельефа распределения средних значений и дисперсий (среднеквадратических отклонений (СКО)). Полученные модели можно считать статистическими первого типа, описывающими закономерности пространственной структуры флуктуаций ЭЯ облачных полей атмосферы названных типов.

Анализ полученных статистических моделей ЭЯ облачных полей показал, что кучевая облачность (Cu) содержит мелкомасштабные неоднородности (рис. 2). Это объясняется тем, что облачное поле типа Cu имеет большую вертикальную протяжённость и в верхних слоях содержит кристаллы льда, а в нижних – капли воды. Как известно [12], отражающая способность кристаллов льда в ДДВ 1,5–2 мкм выше, чем у капель воды. Кроме того, небольшое повышение средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачного поля типа Cu в пригоризонтной области объяснимо влиянием отражения излучения от земли и артефактов, расположенных на её поверхности.

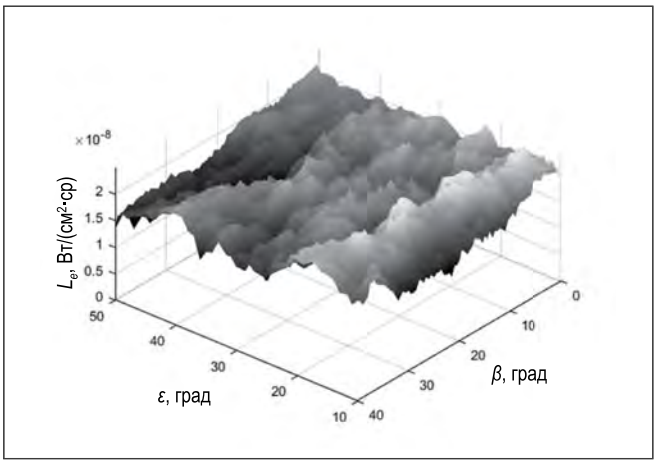


Рис. 2. Статистическая модель в виде потенциального рельефа распределения средних значений флуктуаций энергетической яркости (L_e) кучевой облачности (Cu) 4–6 баллов

Средние значения и дисперсии (СКО) ЭЯ облачного поля высококучевой облачности (Ac) увеличиваются с ростом угла места. Это объясняется тем, что облачное поле Ac образуется на больших высотах и состоит из кристаллов льда, обладающих высокой отражающей способностью в ДДВ 1,5–2 мкм, а в пригоризонтной области увеличивается влияние атмосферы, содержащей аэрозоль, поглощающий часть излучения.

У слоисто-кучевой облачности (Sc) средние значения и дисперсии (СКО) ЭЯ растут с ростом угла места. Это объясняется тем, что облачное поле типа Sc имеет небольшую высоту образования и в основном состоит из капель воды, концентрация которых увеличивается в пригоризонтной области и которые в значительной мере поглощают излучение с ДДВ 1,5–2 мкм [12].

В ходе анализа полученных статистических моделей ЭЯ облачного поля слоистой облачности (St) выявлено, что средние значения и дисперсии (СКО) увеличиваются с ростом угла места (рис. 3). Это объясняется тем, что облачное поле St имеет небольшую высоту образования и в основном состоит из капель воды, концентрация которых увеличивается в пригоризонтной области и которые в значительной мере поглощают рассматриваемое излучение [12].

Средние значения и дисперсии (СКО) ЭЯ облачного поля пористо-слоистой облачности (Cs) повышаются с ростом угла места. Это объясняется тем, что облачное поле типа Cs образуется на больших высотах и состоит из кристаллов льда, обладающих высокой отражающей способностью в ДДВ 1,5–2 мкм, которая падает с уменьшением угла места, так как увеличивается расстояние меж-

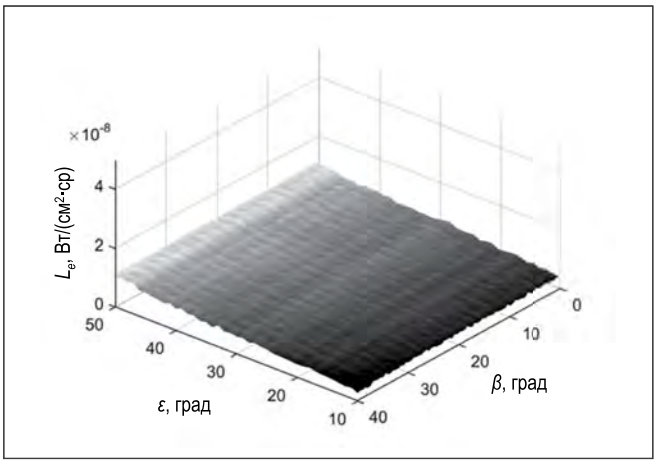


Рис. 3. Статистическая модель в виде потенциального рельефа распределения средних значений флуктуаций энергетической яркости (L_e) слоистой облачности (St)

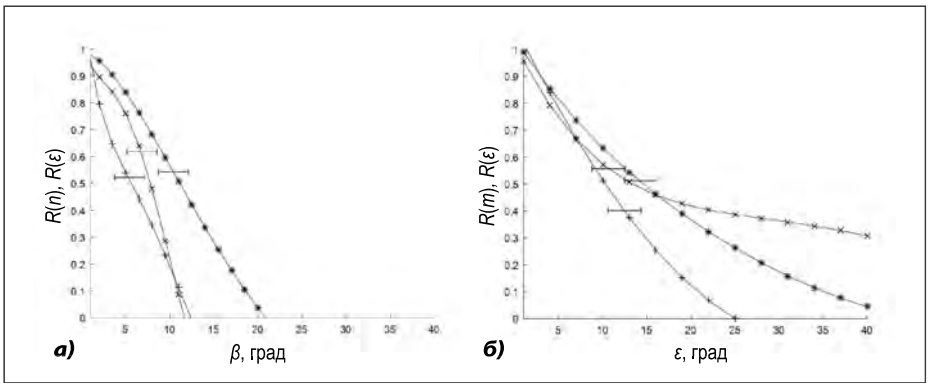


Рис. 4. Зависимости коэффициента пространственной корреляции фонового изображения от углового сдвига по строкам (*а*) и столбцам (*б*)

ду ИВК и облаками и, следовательно, ослабевает излучение из-за поглощения атмосферой. Сравнительно небольшая ЭЯ объясняется тем, что по своей структуре облака типа Cs почти прозрачны.

Анализ полученных статистических моделей ясного неба, скрытого в утренней дымке, показал высокий уровень сигнала. Это объясняется тем, что, несмотря на большое количество капель воды, определяющее состав дымки, оптическая толщина последней недостаточна для сильного поглощения излучения, как, например, в случае облачности St. Рост средних значений и дисперсии (СКО) с ростом угла места объясняется уменьшением оптической толщины дымки, поглощающей излучение.

Измеряемые ЭЯ в случае ясного неба находятся на уровне собственных шумов радиометра. Низкий уровень сигнала, в основном, обусловлен почти полным поглощением измеряемого излучения и слабым отражением из-за низких концентраций аэрозоля в пригоризонтной области и ледяных частиц в верхних слоях атмосферы.

Таким образом, анализ первого типа статистических моделей, представленных в виде зависимостей средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачных полей от угла наблюдения, показал, что интенсивность излучения зависит от высоты образования, состава облаков (кристаллы льда или капли воды) и концентрации частиц (кристаллы льда или капли воды). Если облака расположены высоко, они в основном состоят из кристаллов льда, которые обладают высокой отражающей способностью в ДДВ 1,5–2 мкм, и потому с увеличением угла места наблюдается рост средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачного поля. Если же облака расположены низко, они в основном состоят из капель воды, которые сильно поглощают излучение, из-за чего средние значения и СКО флуктуаций ЭЯ облачного поля оказываются невелики. Кроме того, небольшой рост средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачных полей, имеющих большую вертикальную протяжённость, в пригоризонтной области (Cu), объясним эффектом отражения излучения от земли и артефактов (строений, деревьев и т.п.), расположенных на её поверхности. Зависимость средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачных полей от азимутальных углов наблюдалась при некоторых типах облачности: кучевом (Cu), кучево-дождевом (Cb), высококучевом (Ac), перисто-кучевом (Cc) и перистом (Ci)).

Кроме того, анализ полученных статистических моделей показал, что в зависимости от размера неоднородностей облачные поля можно разделить на две группы. В первую входят те типы облачных полей, которые содержат мелкомасштабные неоднородности: кучевой (Cu), кучево-дождевой (Cb), высококучевой (Ac), перисто-кучевой (Cc) и перистый (Ci), а во вторую – крупномасштабные неоднородности, размер которых больше размеров получаемых кадров: слоистый (St), слоисто-дождевой (Ns), слоисто-кучевой (Sc), высокослоистый (As) и перисто-слоистый (Cs).

Анализ статистических моделей первого типа позволяет представить лишь характер изменений в зависимости от угла места наблюдения, что не позволяет судить об угловых размерах неоднородностей облачных полей.

Для оценки масштабности этих неоднородностей необходим корреляционный анализ моделей первого типа ФИ разных типов облачных полей. Анализ включает расчёт коэффициентов взаимной (пространственной) корреляции R и оценку их зависимости от углового сдвига в двух направлениях – по строкам, а затем по столбцам. Полученные зависимости (рис. 4) можно назвать статистическими моделями второго типа, отражающими закономерности пространственной структуры флуктуаций ЭЯ и позволяющими оценивать угловые размеры неоднородностей облачных полей по значению радиуса корреляции (угловые значения, соответствующие уровню $0{,}5 \cdot R$).

Проведённый анализ показал, что поля слоистого (St), слоисто-кучевого (Sc), слоисто-дождевого (Ns) и перисто-слоистого (Cs) типов облачности можно отнести к имеющим крупномасштабные неоднородности – более 30°. Анализ пространственных корреляционных связей для кучевого типа облачности (Cu) показал, что размеры неоднородностей по углу места примерно одинаковы для всех баллов облачности и равны 7–18°. В азимутальной плоскости размеры неоднородностей имеют схожие размеры 5–15°.

Обобщённый анализ всех типов статистических моделей позволил выявить ряд особенностей яркостных характеристик облачных полей в ДДВ 1,5–2 мкм:

1. По статистическим моделям, распределения средних значений и СКО флуктуаций ЭЯ облачных полей (первого типа) обнаруживают тенденцию к росту интенсивности излучения с ростом угла места наблюдения и зависят от высоты образования, состава облаков (кристаллы льда или капли воды) и концентрации частиц (кристаллы льда или капли воды). Кроме того, они позволяют разделять облачные поля по их ЭЯ на два типа – с мелкомасштабной структурой и с крупномасштабными неоднородностями.

2. Пространственные корреляционные функции флуктуаций ЭЯ облачных полей имеют значимые коэффициенты пространственной корреляции между соседними строками ($R_{n,\,n-1} \approx 0{,}9$) и столбцами ($R_{m,\,m-1} \approx 0{,}9$) ФИ. А потому, как только в соседней строке появляется точечный объект (например, изображение БВС), излучающий в выбранном ДДВ, можно ожидать заметного изменения коэффициента пространственной корреляции между соседними строками, а за-

тем и – столбцами. Под точечным объектом-изображением БВС понимается малоразмерный объект, изображение которого вписывается в N пикселей ($N \leq 5$) массива ФИ [11].

Таким образом, выявление строки и столбца, в которых будет обнаружено заметное изменение коэффициента пространственной корреляции, может служить для определения координат БВС в пределах ФИ облачного поля.

3. Угловые размеры излучающих неоднородностей некоторых видов облачных полей ограничены значениями радиусов корреляции по строкам и столбцам (рис. 4). Поэтому допустима возможность разделения по ширине пространственных спектров излучения БВС и протяжённых излучающих неоднородностей облачного поля.

4. В пределах сегментов ФИ, имеющих угловые ограничения, равные радиусам корреляции, пространственная структура излучающих неоднородностей облачного поля по строкам и столбцам не подвержена резким изменениям (рис. 5) [12], т.е. может считаться равномерной.

Таким образом, получив статистические модели, отражающие закономерности пространственной структуры (угловые размеры неоднородностей) флуктуаций ЭЯ облачных полей атмосферы в ДДВ 1,5–2 мкм, можно переходить ко второму этапу исследования – исследованию энергетических характеристик излучения БВС.

Существует несколько методов экспериментального определения пространственного распределения ЭЯ БВС:

- Метод измерения ЭЯ БВС в полёте. Однако он очень сложен в реализации и требует наличия специального оборудования [13].
- Наземный метод измерения ЭЯ БВС. В нём проводится измерение ЭЯ БВС в заданном ДДВ с помощью радиометрической аппаратуры, перемещаемой вокруг БВС.

Для устранения основного недостатка последнего (наземного) метода БВС закрепляют в специально созданном поворачивающемся устройстве с двумя степенями свободы (рис. 6). Это позволяет находить индикатрису отражения БВС (рис. 7) не только в горизонтальной плоскости, но и при изменении его положения по углу места как в нижней, так и в верхней полусферах, с включённым или выключенным двигателем.

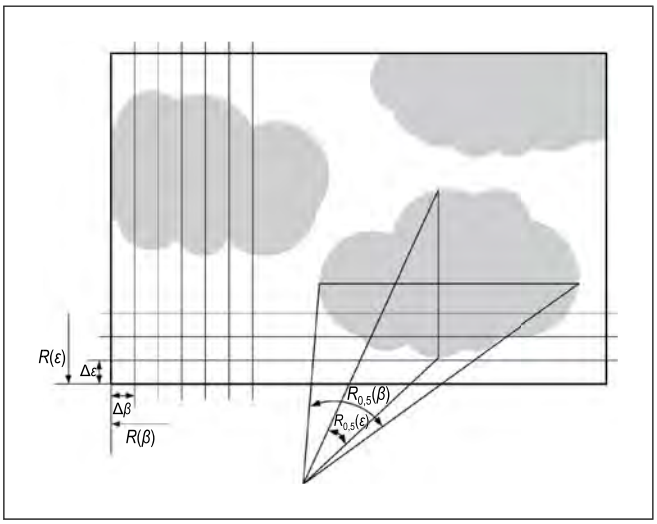


Рис. 5. Оценка пространственной структуры излучения облачного поля по радиусам корреляции в горизонтальном и вертикальном направлениях, где $R_{0,5}(\varepsilon)$ и $R_{0,5}(\beta)$ – радиусы корреляции пространственных корреляционных функций, рассчитанные между строками (столбцами) фонового изображения; $\Delta\varepsilon$ и $\Delta\beta$ – угловые дискретные сдвиги при расчёте пространственных корреляционных функций для кучевой облачности (Cu)

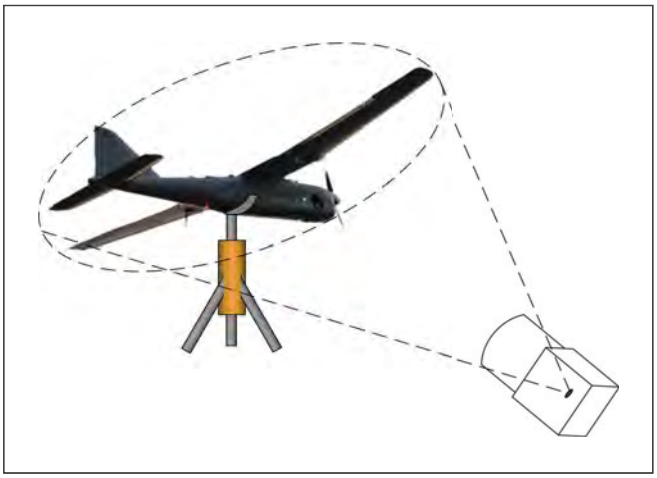


Рис. 6. Поворачивающееся устройство с двумя степенями свободы

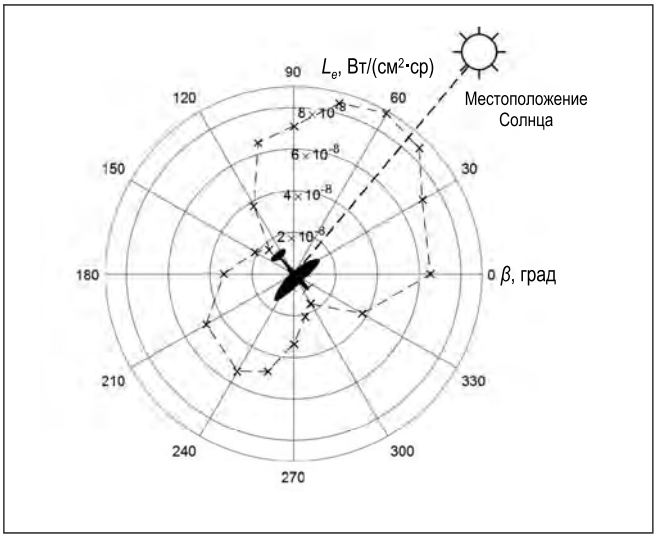


Рис. 7. Модель в виде индикатрисы отражения беспилотного воздушного судна (угол места его наблюдения – 10°, положение Солнца – 50°)

В ходе проведения экспериментального исследования нами была получена индикатриса отражения БВС при одном положении Солнца (50° по азимуту) и угле наблюдения в 10°. В дальнейшем исследования будут продолжены в интересах получения статистических моделей излучения БВС в виде индикатрис при различных положениях Солнца и углах наблюдения.

С учётом свойств статистических моделей, описывающих особенности пространственной структуры (угловые размеры неоднородностей) флуктуаций ЭЯ облачных полей в ДДВ 1,5–2 мкм, выявлено, что для некоторых типов облачности возможно обнаруже-

ние БВС прямым пороговым методом. Но для ряда типов облачности (например, Cu и Cb) этот метод малоэффективен, поскольку ЭЯ некоторых участков облачного поля может быть выше, чем у искомого точечного объекта.

Поэтому необходимо использовать другой подход к решению задачи обнаружения точечного объекта на фоне облачного поля, который заключается в том, что искомый точечный объект обнаруживают путём анализа особенностей пространственной структуры облачного поля. Данный принцип получения информации («фоновый») позволяет совершенно по-новому подойти к проблеме обнаружения и дополнить традиционный пороговый метод обнаружения в случаях, когда последний работает малоэффективно, а именно когда яркостный контраст между точечным объектом и облачным полем мал, а его изображение по размерам не превышает элемента массива ФИ [14].

При реализации фонового принципа систему обнаружения согласовывают с особенностями пространственной структуры излучения атмосферы, что значительно проще, так как фон – объект, медленно меняющийся в пространстве и времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алленов А.М., Соловьев В.А.* Корреляционные (пространственные) связи между флуктуациями яркости, создаваемыми облачными неоднородностями в диапазоне 8–13 мкм // Труды ИЭМ. – 1995. – Вып. 25 (160): Оптика атмосферы. – С. 3–15.

2. *Алленов А.М., Соловьев В.А., Якименко И.В. и др.* Исследования излучения оптических фонов в диапазоне 3–5 и 8–13 мкм // Труды ИЭМ. – 1996. – Вып. 26 (161): Физика атмосферы. – С. 31–50.

3. *Алленов А.М., Соловьев В.А., Якименко И.В.* Структура излучения оптических фонов в диапазоне 0,4–15 мкм // Труды ИЭМ. – 1997. – Вып. 28 (163)): Физика атмосферы. – С. 3–41.

4. *Алленов А.М., Иванова Н.П.* Временная изменчивость пространственной структуры излучения неба в диапазоне 8–13 мкм при кучевой облачности // Оптический журнал. – 2001. – Т. 68, № 3. – С. 43–44.

5. *Алленов М.И., Соловьев В.А. и др.* Стохастическая структура излучения облачности. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000. – 175 с.

6. *Knapp H.W. et al.* Discriminating between water and ice clouds using near- infrared AVIRIS measurements // Summaries of the ninth JPL Aerborne Earth Science workshop, 2000, Feb 23–25, JPL.

7. *Clough S.A., Shephard M.W., Mlawer E.J., Delamere J.S., Iacono M.J., Cady-Pereira K., Boukabara S., Brown P.D.* Atmospheric radiative transfer modeling: a summary of the AER codes // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 2005. – Vol. 91, Issue 2. – P. 233–244.

8. *Huang B., Mielikainen J., Oh H., Huang H.L.A.* Development of a GPU-based high-performance radiative transfer model for the Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) // Journal of Computational Physics. – 2011. – Vol. 230, Issue 6. – P. 2207–2221.

9. *Lieven C., Hurtmans D., Clerbaux C., Hadji-Lazaro J., Ngadi Y., Coheur P.F.* Retrieval of sulphur dioxide from the infrared atmospheric sounding interferometer (IASI) // Atmospheric Measurement Techniques. – 2012. – Vol. 5, Issue 3. – P. 581–594.

10. *Chen X., Wei H., Xu Q.* Infrared atmospheric transmittance calculation model // Infrared and Laser Engineering. – 2011. – Vol. 40, Issue 5.

11. *Мищенко А.М., Рачковский С.С., Смолин В.А., Якименко И.В.* Экспериментальные исследования пространственного распределения собственного излучения атмосферного фона в инфракрасном диапазоне волн // Радиотехника. – 2017. – № 2. – С. 119–125.

12. *Криксунов Л.З.* Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с.

13. Экспериментальное определение характеристик инфракрасного излучения самолётов в полёте: [монография]: научно-теоретическое издание / В.А. Соловьев [и др.]; М-во обороны РФ. – Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2009. – 83 с.

14. *Якименко И.В.* Методы, модели и средства обнаружения воздушных целей на атмосферном фоне широкоугольными оптико-электронными системами. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: Лань, 2014. – 176 с.

Мищенко Антон Михайлович, *офицер российской армии. Окончил в 2009 г. ВА ВПВО ВС РФ. Адъюнкт кафедры «Специальные радиотехнические системы» ВА ВПВО ВС РФ. Автор 5 научных работ и 1 программного продукта для ЭВМ. Область научных интересов: цифровая обработка изображений, системы наблюдения в различных диапазонах длин волн, исследование собственного излучения целей в оптическом диапазоне*

Рачковский Сергей Степанович, *инженер. Окончил в 1988 г. МЭИ. Инженер кафедры «Вычислительная техника» филиала «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. Автор 2 научных работ. Область научных интересов: электроника и микропроцессорная техника; исследование собственного излучения атмосферы и подстилающей поверхности в оптическом диапазоне; разработка измерительной аппаратуры, общепромышленных установок*

Смолин Владимир Алексеевич, *инженер. Окончил в 2013 г. «НИУ «МЭИ». Ассистент кафедры «Электроника и микропроцессорная техника» филиала «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. Аспирант «НИУ «МЭИ». Автор 40 научных и учебно-методических работ и 2 патентов на изобретение. Область научных интересов: цифровая обработка изображений; электроника и микропроцессорная техника; исследование собственного излучения атмосферы в оптическом диапазоне*

Якименко Игорь Владимирович, *доктор техн. наук, доцент. Окончил Смоленское высшее зенитное ракетное инженерное училище (1985 г.) и ВА ВПВО ВС РФ (2006 г.). Заведующий кафедрой «Электроника и микропроцессорная техника» филиала «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. Автор более 200 научных и учебно-методических работ, 11 патентов на изобретение и 22 программных продуктов для ЭВМ. Область научных интересов: цифровая обработка изображений, компьютерное видение и системы технического зрения, системы наблюдения в разных спектральных диапазонах, исследование собственного излучения атмосферы, подстилающей поверхности и собственного излучения целей в оптическом диапазоне*

Разработка новых фотометрических эталонов на основе мощных светодиодов

Е.А. ИВАШИН[1,3], Б.Б. ХЛЕВНОЙ[1], С.С. ШИРОКОВ[1], Е.В. ТИЩЕНКО[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ФГУП «ВНИИОФИ»), г. Москва

[2] Московский государственный университет имени Ломоносова, г. Москва

E-mail: ivashin@vniiofi.ru

Аннотация

Приведено описание конструкции и результатов исследований стабильности и фотометрических характеристик новых мощных (> 10 Вт) термостабилизированных светодиодных источников света для передачи единиц силы света, светового потока и, в перспективе, полного потока излучения.

Ключевые слова: светодиод, сила света, пространственное распределение силы света, световой поток, стабилизация температуры с обратной связью.

1. Введение.

Для передачи размера единиц силы света и светового потока в настоящее время используются лампы накаливания. Использование ламп накаливания общего назначения и галогенных ламп накаливания сопряжено с рядом трудностей: сложность поиска и отбора стандартных образцов с требуемыми параметрами стабильности и уровня силы света или светового потока; невозможность использования для различных уровней светового потока одного стандартного образца при различных параметрах электропитания; постоянное сокращение объёмов производства ламп накаливания в связи с развитием светодиодной промышленности [1]. Применение термостабилизированных светодиодов (СД) имеет важное преимущество для производств, выпускающих продукцию на основе СД. При контроле качества продукции на основе СД калибровка оборудования по СД с аналогичным спектральным составом излучения позволяет повысить точность измерений, не требуя при этом длительных по времени спектральных измерений, а, следовательно, не увеличивая время на обработку результатов [2–4].

В качестве замены ламп типа СИС 40–100, СИС 107–500, СИС 107–1000, СИП 24–10, СИП 107–500, СИП 107–1000 и СИП 107–1500 предлагаются разработанные во ВНИИОФИ источники света (ИС) на основе термостабилизированных СД.

2. Отбор светодиодов

Конструкция термостабилизирующего корпуса СД разрабатывалась таким образом, чтобы в случае изменения типов СД, применяемых при производстве продукции заводом-изготовителем, была возможность замены используемого в данный момент СД на другой СД. Это позволит в кратчайшие сроки изменять набор стандартных калибровочных образцов у производителей осветительных и иных устройств на основе СД.

В качестве экспериментальных образцов были отобраны СД разной мощности и спектрального состава.

Эксперименты по исследованию стабильности световых параметров проводились на образцах со следующими электрическими мощностями: 1, 10, 36 и 78 Вт. Кроме того, образцы были отобраны таким образом, чтобы охватить различные типы теплоотводящих оснований: СД мощностью 1 и 10 Вт были выбраны для установки на алюминиевом теплоотводе, а светодиоды мощностью 36 и 78 Вт – на керамическом теплоотводе. Перед сборкой термостабилизированных ИС СД подверглись предварительному отжигу в течение 250 ч [5, 6]. После окончательной сборки СД дополнительно отжигались в течение 100 ч в рабочем режиме (со стабилизацией температуры).

3. Конструкция

3.1. Источник света

Конструкция ИС предусматривает 2 стандартных варианта: с применением оптических элементов, гомогенизирующих пространственное распределение спектральной плотности силы излучения, и без них. Необходимость применения оптических элементов для уменьшения неоднородности пространственного распределения спектральной плотности силы излучения обусловлена необходимостью калибровки гониофотометров по этим стандартным образцам.

В качестве датчика системы контроля температуры диода было выбрано платиновое термосопротивление *Pt-1000*, что обусловлено высокой ста-

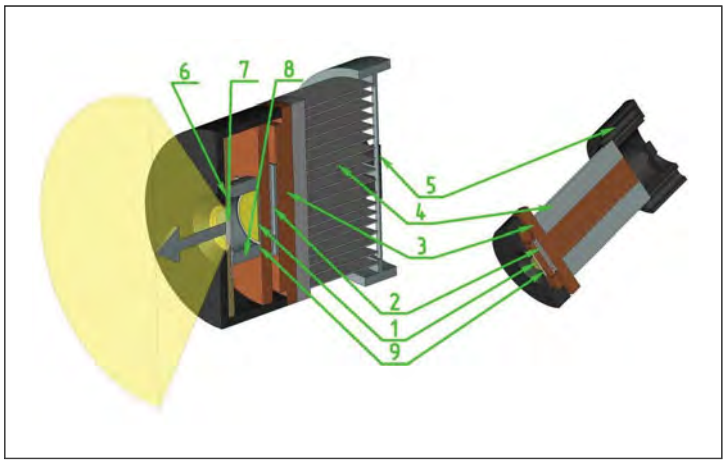


Рис. 1. Устройство термостабилизированных ИС на основе *COB* (*chip-on-board*) СД с оптическими элементами (слева) и без оптических элементов (справа). 1 – *COB* СД; 2 – элемент Пельтье; 3 – медное основание для элемента Пельтье; 4 – радиатор; 5 – вентилятор; 6 –диафрагма; 7 – матовое стекло; 8 – трубка из политетрафторэтилена; 9 – точка с известным тепловым сопротивлением до светодиодных кристаллов (в этой точке установлено термосопротивление)

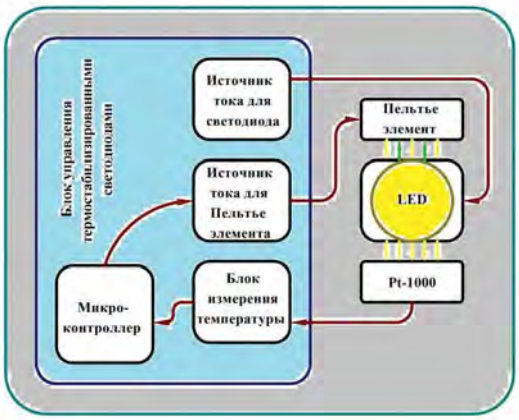


Рис. 2. Блок-схема устройства управления ИС

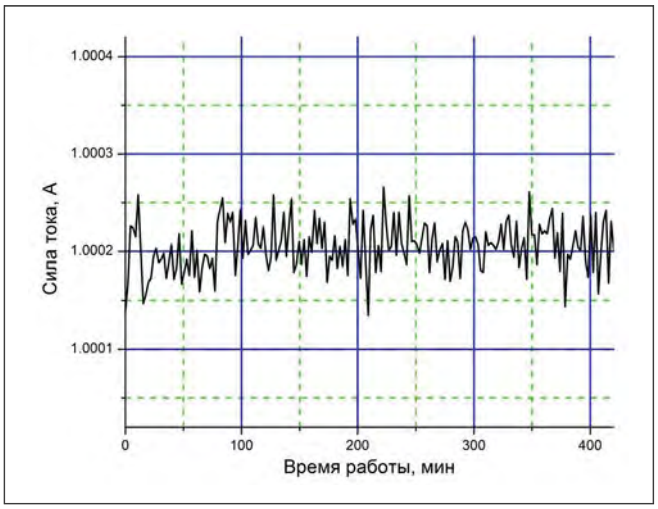


Рис. 3. Стабильность источника тока, питающего СД

бильностью и воспроизводимостью датчиков данного типа. Для активной стабилизации по температуре применяется элемент Пельтье.

Радиаторы были подобраны из промышленно-изготавливаемых в соответствии с ожидаемой рассеиваемой мощностью; далее, в процессе сборки конструкции, они проходят доработку. Внутренние теплопроводящие элементы изготавливаются из меди. Выходная диафрагма выполнена из латуни. Внешний корпус изготавливается из пластика.

Конструкции ИС с использованием оптических элементов и без использования оптических элементов представлены на рис. 1.

СД 1 располагается на медной пластине, которая выполняет роль теплового аккумулятора с целью улучшения параметров термостабилизации и плавности изменения температуры самого СД. Для обеспечения угловой однородности спектральных характеристик излучения в конструкции ИС первого типа (рис. 1, слева) применены специальные оптические элементы в виде тубуса из политетрафторэтилена (фторопласта) 8 и стекла марки МС-23 с матированием 7. Выходным окном ИС является диафрагма 6. В конструкции с дополнительными оптическими элементами (рис. 1, слева) диаметр выходного окна составляет 20 мм; во втором варианте исполнения диаметр выходного окна зависит от применяемого СД. Медная пластина с СД располагается на элементе Пельтье 2, при помощи которого осуществляется регулировка температуры СД. Сам элемент Пельтье установлен на медную пластину 3 с радиатором 4 с активным охлаждением вентилятором 5. Площадь поверхности радиатора зависит от мощности стабилизируемого СД и применяемого элемента Пельтье.

3.2. Устройство управления

3.2.1. Конструкция

Блок-схема устройства управления термостабилизированными светодиодными ИС приведена на рис. 2.

Устройство управления состоит из источника тока, питающего СД, источника питания для элемента Пельтье, блока измерения температуры и блока управления, регулирующего параметры питания элемента Пельтье в зависимости от температуры СД.

Устройство управления имеет возможность подключения к персональному компьютеру для реализации дополнительных алгоритмов стабилизации ИС. Кроме того, при подключении к персональному компьютеру есть возможность программного управления источником тока для питания СД, источником питания элементов Пельтье и блоком измерения температуры датчиком типа *Pt*-1000.

3.2.2. Основные параметры.

Источник тока, питающий СД, является стабилизированным источником с дискретностью установки тока $30 \cdot 10^{-6}$ А. Стабильность источника тока составляет 10^{-4} А за 10 ч непрерывной работы. Точность установки тока равна 10^{-4} А. Дискретность установки силы тока источника питания элемента Пельтье составляет $50 \cdot 10^{-6}$ А. Малый шаг установки тока элемента Пельтье обеспечивает высокоточную стабилизацию температуры СД даже при незначительном изменении температуры окружающей среды. Дискретность измерения температуры при помощи термосопротивления составляет 0,01 °С. Устройство управления генерирует управляющий сигнал для источника питания элемента Пельтье на основе данных об изменении температуры СД.

Стабильность источника тока для питания СД исследовалась при помощи измерения падения напряжения на внешнем шунтирующем сопротивлении. Для измерения напряжения был выбран вольтметр модели *3458A* компании *Agilent*. В качестве шунта использовалась катушка электрического сопротивления *P310* с номинальным сопротивлением 0,1 Ом. Для исключения погрешности, связанной с нагревом шунта, его температура в процессе измерения контролировалась. График стабильности источника тока для питания СД представлен на рис. 3, и из него следует, что отклонение от среднего значения тока составляет ± 0,01 %, и при этом нестабильность в течение 7 ч работы составляет менее чем 0,005 %. Стабильность температуры СД, обеспечиваемая описанным устройством управления, составляет

± 0,01 °С при температуре помещения 22 ± 2 °С.

4. Исследование фотометрических параметров термостабилизированных светодиодов при питании специально разработанным устройством управления

В данной статье отражены исследования фотометрических параметров светодиодного ИС, имеющего конструкцию первого типа (с применением тубуса из политетрафторэтилена и матового стекла).

Выход на рабочий режим, включая время на стабилизацию температуры, составляет не более чем 0,5 ч. График выхода СД на рабочий режим при номинальном токе 1 А и температуре стабилизации 36 °С представлен на рис. 4а. Стабильность силы света светодиодных ИС отражена на рис. 4б, и она составляет ± 0,02 % на протяжении 7 ч непрерывной работы ИС.

Воспроизводимость по силе света составляет менее чем 0,02 % за более чем 30 циклов включения и переюстировки. Сила света образца составляет 631 кд [7].

Стабильность и воспроизводимость по световому потоку аналогична стабильности и воспроизводимости по силе света, поскольку единица светового потока передаётся гониофотометрическим методом [7–9]. Величина светового потока данного образца составляет 1500 лм.

На рис. 5а приведено пространственное распределение силы света ИС, позволяющее сделать вывод об однородности фотометрического тела ИС, которая обеспечивается вставкой из фторопласта и матовым стеклом. Неоднородность силы света в различных меридиональных плоскостях для азимутальных углов в диапазоне ±70° относительно фотометрической оси ИС составляет не более 2 %.

На рис. 5б приведены зависимости координат цветности ИС от угла наблюдения. Изменение координат цветности в зависимости от угла наблюдения составляет $\Delta x = 0{,}006$ и $\Delta y = 0{,}005$, что позволяет говорить о высокой спектральной однородности фотометрического тела ИС. Спектральная однородность ИС позволяет минимизировать погрешность, связанную с неточностью коррекции фотометров под кривую видности человеческого глаза. Коррелированная цветовая температура ИС составляет 3500 К.

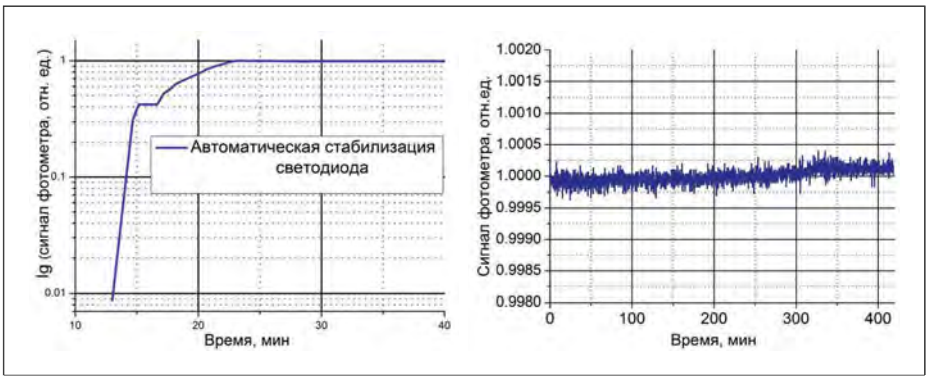


Рис. 4. Выход ИС на рабочий режим (а) и стабильность силы света источника на протяжении 7 ч непрерывной работы (б)

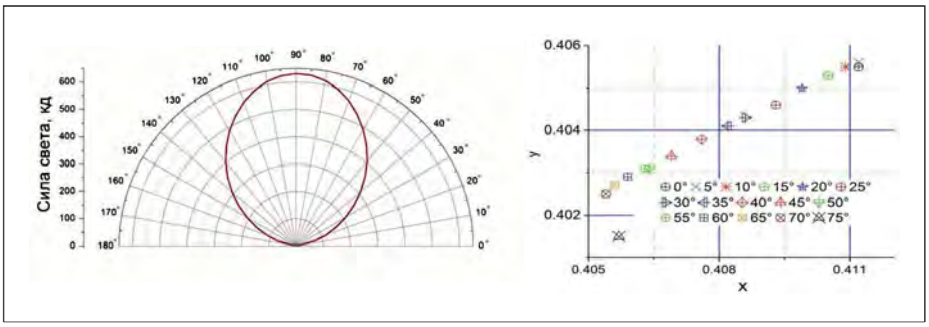


Рис. 5. Пространственное распределение силы света ИС (а) и зависимость координат цветности излучения ИС от угла наблюдения (б)

5. Заключение

В работе представлены разработанные и исследованные во ФГУП «ВНИИОФИ» эталонные термостабилизированные ИС на основе мощных СД. Их особенностью является электрическая мощность стабилизируемых СД, которая может достигать 78 Вт, тогда как ранее термостабилизированные СД имели мощность не более чем 5 Вт [5, 6]. В ходе работы были разработаны и исследованы образцы со световыми потоками в диапазоне от 10 до 2500 лм. Результаты исследований продемонстрировали высокую стабильность и воспроизводимость новых ИС. В дальнейшем планируется введение этих ИС в государственный реестр средств измерений с целью применения их для поверки и калибровки фотометрических комплексов, используемых для измерения параметров СД и продукции на их основе.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования высокоточных измерительных технологий в области фотоники (ckp.vniiofi.ru), созданного на базе ФГУП «ВНИИОФИ» и поддержанного Минобрнауки России в рамках выполнения соглашения № 14.595.21.0003 от 28.08.2017 г. (уникальный идентификатор RFMEFI59517X0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zwinkels, L.C.* CCPR Activities Related to LED-based Calibration Standards // CIE Lighting Quality and Energy Efficiency Conference. Melbourne, Australia, 2016. https://www.researchgate.net/publication/298212170_CCPR_Activities_Related_to_LED-based_Calibration_Standards.

2. *Blattner, P.* CIE report to CCPR2016. https://www.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_42_CIE_report_to_CCPR.pdf

3. *Ohno, Y. et al.* LED Sources in Photometry at NIST // Report to CCPR2016. https://www.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_47_Y_Ohno_LED_sources_in_photometry_at_NIST_for_CCPR_2016–11–07.pdf

4. *Zama, T.* NMIJ Research Activities relevant to LED Sources for Photometry // Report to CCPR2016. https://www1.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_46_NMIJ_Activities_LED_soureces_Photometry.pdf

5. *Gerloff, T., Lindemann, M., Shirokov, S., Taddeo, M., Pendsa, S., Sperling, A.* Develop-

ment of a new high-power LED transfer standard // CIE Proceedings 2012. https://www.researchgate.net/publication/293172050_Development_of_a_new_high-power_LED_transfer_standard.

6. *Lindemann, M., Maass, M.* Photometry and Colorimetry of Reference LEDs by Using a Compact Goniophotometer // MAPAN – Journal of Metrology Society of India – Vol. 24, No. 3.

7. CIE127; 2007 (2nd edition); Measurement of LEDs.

8. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. / М.: Знак. 2006. – 972 с.

9. *Тиходеев П.М.* Световые измерения в светотехнике / М. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 464 с.

Ивашин Евгений Андреевич. *Окончил МГТУ «Станкин». Ведущий инженер ФГУП «ВНИИОФИ»*

Хлевной Борис Борисович, *кандидат техн. наук. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Начальник лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ»*

Широков Станислав Сергеевич. *Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Инженер 1 категории ФГУП «ВНИИОФИ»*

Тищенко Евгений Викторович. *Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Учится в ммагистратуре МГУ им. М.В. Ломоносова*

Краткое сообщение

О разработке профессиональных стандартов в области светотехники

В 2017–2018 гг. для предприятий наноиндустрии разрабатываются профессиональные стандарты: «Специалист по разработке световых приборов со светодиодами» и «Специалист по световому дизайну и проектированию инновационных осветительных установок». Это первые профессиональные стандарты в области светотехники. Профессиональный стандарт – характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определённого вида профессиональной деятельности, в том числе выполнения определённой трудовой функции.

Профессиональные стандарты разработаны и применяются согласно статье 195.2 и статье 195.3 Трудового кодекса Российской Федерации. Профессиональные стандарты являются основой для разработки Профессиональных государственных образовательных стандартов (ФГОС).

Этапы разработки стандартов:

I этап 10 мая 2017 года – 19 сентября 2017 года

Разработка квалификационной структуры квалификационных требований

Проведение исследования видов трудовой деятельности

Разработка проектов квалификационных требований

Проведение профессиональной (непубличной) экспертизы

II этап 02 октября 2017 года – 05 декабря 2017 года

Преобразование квалификационных требований в формат профессиональных стандартов в макете Минтруда России

Проведение профессиональной (публичной) экспертизы

III этап 18 декабря 2017 года – 06 апреля 2018 года

Проведение профессионально-общественного обсуждения

Сопровождение, доработка и согласование проектов профессиональных стандартов по результатам профессионально-общественного обсуждения

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении, высказать свои пожелания и оказать поддержку представленным проектам. Стандарты размещены на сайте ООО «ВНИСИ» www.vnisi.ru, а также на официальных сайтах:

– Министерства труда и социальной защиты РФ http://www.rosmintrud.ru;

– Всероссийского научно-исследовательского института труда Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации http://www.vcot.info;

– Национального Агентства Развития Квалификаций (НАРК) http://www.nark-rspp.ru;

– Межотраслевого объединения наноиндустрии http://www.monrf.ru.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 148н « Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов»,

2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 апреля 2014 г. № 170н «Об утверждении методических рекомендаций по разработке профессионального стандарта»,

3. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 665н «О внесении изменений в Макет профессионального стандарта, утверждённый приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 147н»,

4. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 666н «Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов»,

5. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 667н «О реестре профессиональных стандартов (перечне видов профессиональной деятельности)»,

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30 сентября 2014 г. N671н «Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов».

к.т.н. Юшков Д.Д.

О коэффициенте мощности светодиодных ламп (в связи с требованиями ГОСТ Р 55705–2013)

Р.Х. ТУКШАИТОВ[1], Э.Ю. АБДУЛЛАЗЯНОВ[1], Р.М. НИГМАТУЛЛИН[2], АЙХАЙТИ ИСЫХАКЭФУ[1]

[1] Казанский государственный энергетический университет
[2] Казанский научный центр РАН, Казань
E-mail: trh_08@mail.ru

Аннотация

На основе результатов исследования 38 светодиодных ламп разных производителей показано, что коэффициент мощности (КМ) у 90 % из них составляет 0,43–0,64, что значительно ниже минимальных нормативных значений по ГОСТ Р 55705–2013. Обоснована целесообразность повышения минимального нормативного КМ светодиодных ламп мощностью до 8 Вт с 0,70 до 0,85 и показана возможность такого повышения без удорожания этих изделий.

Ключевые слова: светодиодная лампа, коэффициент мощности, коэффициент нелинейных искажений, нормативные требования.

1. Введение

Коэффициент мощности (КМ) светодиодных ламп (СДЛ) относится к числу их основных параметров. (Он представляет собою отношение активной мощности СДЛ к полной и необходим при проектировании осветительных систем.) Однако, несмотря на важность данного показателя, для которого разработаны нормативные требования [1], он зачастую не приводится в технической документации. Очевидно, потому, что его реальные значения во многих случаях значительно ниже нормативных [2, 3]. Вопрос соответствующей доработки нормативного документа [1] ранее поднимался в работах [4, 5], но продолжает оставаться открытым, требуя дальнейшего обоснования.

В соответствии с этим целью данной работы явилось определение пределов изменения КМ СДЛ разных торговых марок (производителей) и на основе полученных результатов предложить приемлемые пути решения указанного вопроса.

2. Методика исследования

Измерялись такие параметры, как потребляемая мощность $P_{измерен}$, КМ и коэффициент нелинейных искажений (КНИ) 38 СДЛ 19 производителей с заявленной мощностью $P_{заявлен}$, от 3 до 20 Вт.

Измерения P и КМ СДЛ осуществлялось измерительным прибором CAT2, а вычисление значений КНИ – по известной методике [6, 7].

В дополнение к этому оценивалось соответствие СДЛ нормативным требованиям по коэффициенту пульсации освещённости $K_п$ [8]. При этом измерение $K_п$ осуществлялось пульсметром-люксметром ТКА-ПМК (08).

3. Результаты экспериментов

Согласно полученным результатам (табл. 1), большинство испытанных ламп имеет достаточно низкие значения КМ, в 95 % случаев не соответствующие нормативным требованиям [1], представленным в табл. 2. (Аналогично, в работе [2] тоже показано, что, например, в выборке из 64-х СДЛ 96 % из них не удовлетворяют нормативным требованиям.) По результатам наших измерений и данным работы [2], лишь 10 % всех испытанных СДЛ имели КМ выше минимально допустимого нормативного значения. Среднее значение КМ было низким – 0,55, как и полученное при статистической обработке данных [2] – 0,52.

Обеспечить соответствующее качество СДЛ можно как повышением их КМ, так и некоторой доработкой ГОСТ [1].

Повышение минимальных значений КМ СДЛ, например, возможно снабжением их (в производстве) более эффективными активными корректорами мощности. Однако это может удорожать и, соответственно, затруднять реализацию ламп.

Для оценки степени удорожания СДЛ вследствие усовершенствования управляющих устройств («драйверов») нами проводился анализ имевших место в Москве [2] рыночных цен СДЛ во второй половине 2015 года. Применительно к СДЛ мощностью 7, 9 и 13 Вт были составлены три подвыборки их цен (табл. 3).

Из 13 СДЛ мощностью 7 Вт лишь 2 («*Allight*» и «*KREZ*») имели значения КМ, соответственно, 0,83 и 0,94, превышавшие минимальное нормативное (0,7). Из 9 СДЛ мощностью 9 Вт лишь у одной («*Osram*») КМ (0,92) был выше нормативного минимума (0,85). Третья подвыборка для анализа не использовалась из-за малости объёма.

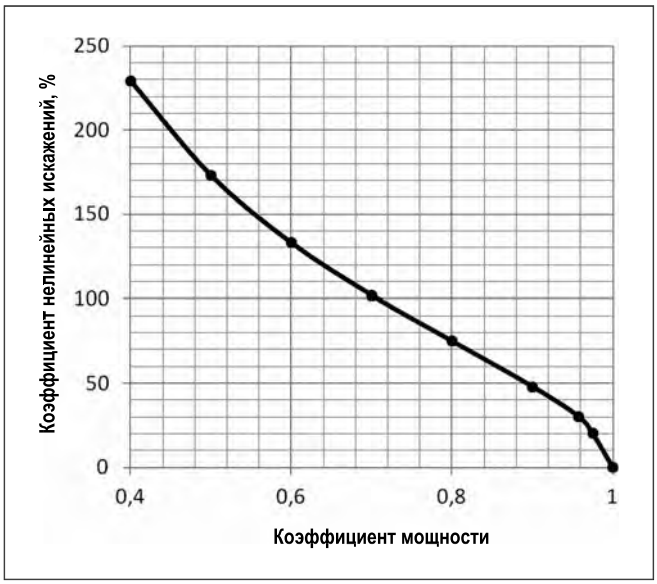


Рисунок. Номограмма для определения коэффициента нелинейных искажений

Таблица 1

Значения нескольких параметров светодиодных ламп

Торговая марка (бренд) СДЛ	$P_{заявлен}$, Вт	$P_{измерен}$, Вт	КМ	КНИ,%	$K_п$,%
ASD	20	14,5	0,60	108	<1
	11	9,1	0,53	159	<1
	5	3,9	0,56	128	<1
Compak	20	18	0,57	112	2,5
Wolta (шар)	18	18,5	0,58	61	<1
	9	9,1	0,57	129	<1
Gertz	17	12	0,57	130	<1
	11	8,6	0,57	138	<1
Geniled	16	13	0,54	150	<1
	12	11	0,56	140	<1
	10	9,6	0,53	122	11
	9	6,8	0,60	120	<1
	7	6,2	0,55	150	<1
	5	4,7	0,54	150	<1
ЭРА	13	12	0,73	82	11
	10	8,2	0,50	63	86
	8	6,0	0,51	90	30
	7	6,4	0,52	150	<1
	6	4,0	0,43	180	<1
Sylvanu	12	8,5	0,46	175	7,5
Komtex	10	9,9	0,40	230	73
	5	5,3	0,54	138	<1
Camelion	11	11,4	0,47	170	<1
	10	10,1	0,45	198	<1
	8	8,7	0,53	150	65
Pulsar	10	9,7	0,92	34	40
Jazzway	10	8,6	0,45	197	1,4
Philips	10	8, 9	0,64	105	23
	8	7,9	0,91	30	23
Gauss	10	9,3	0,53	150	<1
	5	4,8	0,55	150	<1
Онлайт	10	9,2	0,61	118	<1
НЛО	9	10,9	0,47	155	<1
	7	7,1	0,45	170	<1
Включай	5,5	4,0	0,56	132	<1
Estaris	5,5	4,7	0,57	132	<1
Вирибрайт	5	5,6	0,54	149	<1
Luna Plus	6	5,8	0,61	109	<1

Если в первой подвыборке цена одной СДЛ с высоким КМ выше средней в 2,6 раза, то цена другой СДЛ с высоким КМ, наоборот, вдвое ниже (150 руб.). Во второй подвыборке цена 9-ваттной СДЛ с высоким КМ больше средней лишь в 1,3 раза, но средняя цена в 1,25 раза ниже цены самой дорогой СДЛ («*Energizer*»).

По сообщению фирмы *Maysun* (Москва) и результатам анализа прайс-листов ряда других фирм, многие мировые производители, в том числе китайские, отпускную цену СДЛ отчасти увязывают с уровнем их КМ. Однако из табл. 3 видно, что цена СДЛ на российском рынке пока достоверно не определяется их КМ и даже мощностью, что свидетельствует о наличии достаточно большой вольности в ценообразовании реализуемых СДЛ.

Поскольку выявить удорожание СДЛ с повышением их КМ не удалось, можно заключить, что действующие требования к КМ [1] без этого удорожания вполне выполнимы.

Поэтому необходимы срочные административные меры по выполнению указанных требований, тем более, что многие производители с целью удешевления своих СДЛ идут, напротив, в сторону снижения КМ. Так, если 8-ваттная СДЛ фирмы *Philips*, приобретённая в 2013 г. на выставке «*Interlight Moscow powered by Light+Building*», имела КМ 0,91, то СДЛ той же мощности этой фирмы в 2015 г. имела, по данным [2], КМ 0,53.

Из табл. 1 также видно, что значения КМ СДЛ широко варьируются: от 0,40–0,44 до 0,94–0,99, чему соответствуют изменения КНИ от 5–30 % до 200–230 %. Нормативным минимумам значений КМ (табл. 2) соответствуют сравнительно большие предельные значения КНИ: 100, 60 и 45 % соответственно (рисунок). Поэтому последующее обоснование новых требований к КМ СДЛ необходимо увязывать с максимально допустимыми значениями КНИ, введя административное ограничение на поступление СДЛ с низким КМ и высоким КНИ на отечественный рынок.

КНИ СДЛ мощностью до 8 Вт слишком высоки, и потому осветительные системы с такими СДЛ могут быть источником кондуктивных помех [9], вследствие чего целесообразно повысить для них нормативный минимум КМ с 0,7 до 0,85 (как для СДЛ мощностью до 20 Вт).

Что касается заявленной мощности многих СДЛ, то у 70 % из них она в среднем завышена на 20 %. У остальных же 30 % СДЛ заявленная мощность несколько занижена, но не более чем на 7 %. Значительное завышение заявленной мощности многих СДЛ ведёт к завышению требования к уровню КМ. (Так, согласно табл. 1, заявленная мощность 9-ваттной СДЛ бренда «*Geniled*» за-

Таблица 2

Нормативные значения коэффициента мощности светодиодных ламп по ГОСТ [1]

Мощность, Вт	до 8	с 8 до 20	более 20
Коэффициент мощности	> 0,70	> 0,85	> 0,90

Таблица 3

Средние и предельные цены СДЛ разной мощности в торговых домах Москвы

Мощность, Вт	7	9	13
Объём выборки, шт.	13	9	2
Цена, руб	316 ± 58	375 ± 36	305 ± 94
Цена СДЛ с высоким значением КНИ, руб.	802	482	399

вышена на 32 %, и формально бы КМ должен быть ≥ 0,85. Но, поскольку измеренная мощность данной СДЛ – всего 6,8 Вт, то, согласно табл. 2, требование к КМ снижается до 0,70.

Далее, электромагнитная совместимость у всех СДЛ по уровню радиопомех достаточно высока. Большие радиопомехи обнаружены только у 10-ваттной СДЛ «*Pulsar*» (даже в 10 м от неё практически невозможен качественный приём сигнала от радиостанций во всём УКВ-ЧМ диапазоне).

Другой немаловажный нормируемый параметр СДЛ – $K_п$ [8]. Данный коэффициент у 93 % испытанных СДЛ не выходит за пределы нормативных требований, а у 68 % даже значительно ниже (≤ 1 %). $K_п$ недопустимо высок (> 20 %) лишь у 7 % СДЛ (табл. 1).

4. Заключение

Результаты измерений ряда параметров СДЛ и статистическая обработка соответствующих литературных данных позволяют сделать следующие выводы:

- На рынке порядка 95 % СДЛ по уровню их КМ не соответствуют минимальным требованиям ГОСТ [1]. Вместе с тем нормативные требования вполне выполнимы без повышения рыночной цены СДЛ простой их покупкой у соответствующих производителей.
- Отпускная цена СДЛ многих мировых производителей отчасти определяется значением КМ этих ламп. Вместе с тем средняя рыночная цена СДЛ в России от этого параметра не зависит.
- Для снижения потерь в электросетях следует минимальное нормативное требование к КМ СДЛ мощностью до 8 Вт повысить с 0,7 до 0,85 (как для всех СДЛ мощностью до 20 Вт).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55705–2013 «Приборы осветительные со светодиодными источниками света. Общие технические условия».

2. *Шаракшанэ А.С.* Отчёт о выполнении проекта «Проведение независимой проверки качества светотехнической продукции» // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 69–86.

3. *Тукшаитов Р.Х., Айхайти Исыхакэфу, Нигматуллин Р.М., Иштырякова Ю.С.* Применение ряда информативных параметров при сравнительной оценке качества светодиодных ламп торговых марок «Camelion» и «ASD» // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 4, № 9. – С. 129–131.

4. *Тукшаитов Р.Х.* Методологические аспекты формирования в ГОСТ требований к коэффициенту мощности светодиодных светильников и его структуре / Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: мат. XII Всерос. науч. – технич. конф. с междунар. участием (Саранск, 28–29 мая 2015 г.) в рамках III Всерос. светоэнич. форума с междунар. участием / редкол.: О.Е. Железникова (отв. ред.), А.А. Ашрятов (зам. отв. ред.), А.М. Кокинов [и др.]; МГУ им. Н.П. Огарёва. – Саранск: Издатель Афанасьев В. С, 2015. – С. 64–66.

5. *Тукшаитов Р.Х., Абдуллазянов Э.Ю., Курмаев И.Х., Нигматуллин Р.М.* Доработка ГОСТ Р 55705–2013 – путь к новым энергосберегающим возможностям светодиодных осветительных систем / Труды XV Международного симпозиума «Энегоресурсоэффективность и энергосбережение» (Казань, 1–3 апреля 2015 г.). – Казань, 2015. – С. 200–203.

6. *Verderber R.R., Morse O.C., Alling G.R.* Harmonics From Compact Fluorescent lamps // IEEE Transaction on Industry Applications. – 1994. – Vol. 29, No. 3. – P. 670–674.

7. *Мазумдар С., Мандал Р.С., Мухерджи А., Сур А.К.* Коэффициент мощности и гармонический анализ компактных люминесцентных ламп со встроенными ПРА // Светотехника. – 2010. – № 1. – С. 32–37.

8. СанПиН 2.2.12.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

9. IEC61000–3–2: 2009 «Elecromagnetic compatibility (EMC) – Part 3–2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)».

Тукшаитов Рафаил Хасьянович, *доктор биол. наук. Окончил в 1963 г. Казанский авиационный институт. Профессор кафедры «Промышленная электроника и светотехника» Казанского государственного энергетического университета*

Абдуллазянов Эдвард Юнусович, *канд. техн. наук. Окончил в 1998 г. Казанский энергетический институт. Ректор Казанского государственного энергетического университета*

Нигматуллин Рустэм Мухаметович, *доктор техн. наук. Окончил в 1961 г. Казанский сельскохозяйственный институт. Ведущий научный сотрудник Казанского научного центра РАН*

Айхайти Исыхакэфу, *инженер. Инженер Казанского государственного энергетического университета. Окончил в 2008 г. один из вузов КНР*

Самонастраивающаяся настольная лампа со светодиодами на основе датчика *TCS3414CS*[1]

А. ГЭ, Ч. ЛИН, С. ТАО, Р. ХАО, Ц. ЧЭНЬ

Университет Фудан, Шанхай, Китай

E-mail: amge@fudan.edu.cn

Аннотация

В статье описана конструкция самонастраивающейся настольной лампы со светодиодами. Освещённость на рабочей плоскости и коррелированная цветовая температура в случае комбинированного освещения измеряются при помощи многоканального колориметрического датчика *TCS3414CS*. Встроенный в настольную лампу микроконтроллер регулирует выходные параметры устройства управления для светодиодов таким образом, чтобы обеспечивать постоянство освещения. Результаты экспериментов показали, что независимо от того, как меняется общее освещение, эта настольная лампа может обеспечивать удовлетворительное комбинированное освещение, при котором освещённость и коррелированная цветовая температура поддерживаются на заданных уровнях, повышая уровень комфортности для потребителя.

Ключевые слова: настольная лампа, освещение, коррелированная цветовая температура, колориметрический датчик, светорегулирование.

1. Введение

По мере быстрого развития светодиодной техники люди начинают обращать всё большее внимание скорее на качество, комфортность и экологичность освещения, чем на его яркость и стоимость. В нашей повседневной жизни наиболее широко используемыми вспомогательными осветительными приборами являются настольные лампы. На современном рынке присутствуют настольные лампы с СД, относящиеся, в основном, к двум типам [1]: традиционные настольные лампы без возможности светорегулирования и «умные» настольные лампы, световые потоки и коррелированные цветовые температуры (КЦТ) которых могут регулироваться вручную. Однако при изменении общего освещения настольные лампы первого типа не способны поддерживать постоянное освещение рабочей плоскости. А так как осуществляемое вручную регулирование зависит исключительно от интуитивного восприятия пользователя, то настольные лампы второго типа могут обеспечить слишком высокий или слишком низкий уровень освещения, которые при длительном восприятии могут оказать вредное воздействие на зрение. Кроме того, ручное регулирование противоречит современному подходу к конструированию бытовых приборов, в основу которого положены интеллектуальность, ориентированность на людей и экологичность. При этом потребители имеют разные предпочтения в части КЦТ, и требования, предъявляемые ими к цвету, зачастую зависят от конкретных условий. Например, тёпло-белый свет больше подходит для чтения во время отдыха, тогда как белый свет с высокой КЦТ может способствовать поддержанию активной умственной деятельности в рабочие часы [2]. Для лучшего удовлетворения потребности в качественном освещении и была разработана описанная в данной статье самонастраивающаяся настольная лампа с СД, способная осуществлять регулирование как освещённости, так и КЦТ. При изменении общего освещения эта настольная лампа может отрегулировать световой поток СД таким образом, чтобы обеспечить постоянство уровня освещения и при этом поддерживать заданное значение КЦТ комбинированного (общего + обеспечиваемого СД) освещения.

2. Конструкция

Описываемая настольная лампа состоит из микроконтроллера, устройств управления (УУ) для СД, колориметрического датчика [3, 4], регуляторов напряжения и СД матрицы (рис. 1).

СД матрица включает в себя СД двух типов, имеющих разные КЦТ, что позволяет регулировать КЦТ света настольной лампы. Для расширения границ регулирования цвета, а также для удовлетворения требований к выходному световому потоку настольной лампы, для неё были выбраны СД серии *XLamp XPE* компании *Cree*, характеризующиеся разнообразием спектральных характеристик и высокой эффективностью. Для рассматриваемой конструкции были выбраны СД с КЦТ, равными 2600 и 6500 К, мощностью 2 Вт каждый.

Расположенный на держателе настольной лампы колориметрический датчик может регистрировать комбинированный свет и передавать информацию микроконтроллеру, который, в свою очередь, рассчитывает КЦТ комбинированного освещения и освещённость, создаваемую комбинированным освещением на рабочей плоскости, и сравнивает полученные результаты с заданными значениями, с тем, чтобы осуществить адаптивное управление излучением СД.

Из соображений безопасности, напряжение питания настольной лампы было ограничено значением 12 В, обеспечиваемым внешним преобразователем переменного напряжения в постоянное. Т.к. нормированное значение напряжения питания микроконтроллера и колориметрического датчика составляет 3,3 В, то на пе-

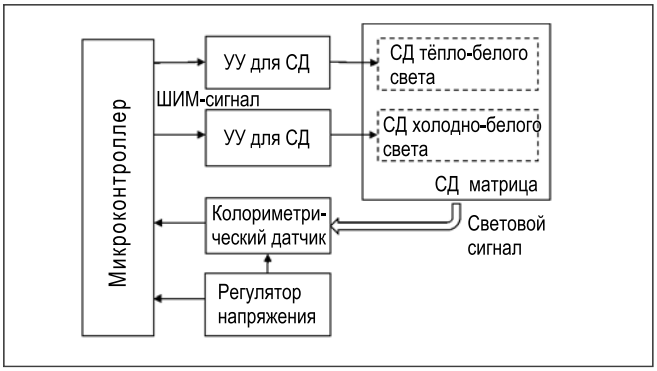


Рис. 1. Блок-схема настольной лампы

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

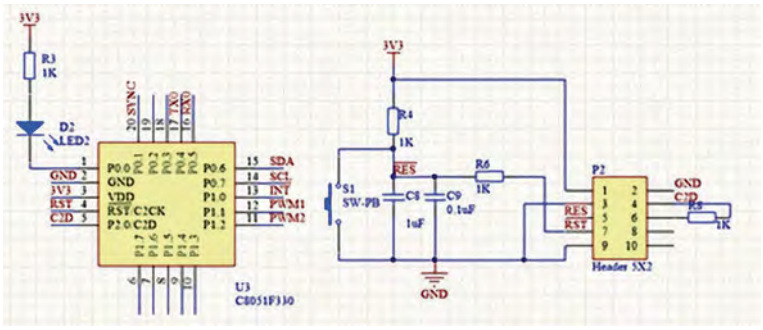


Рис. 2. Схема микроконтроллера и интерфейса его программирования

чатной плате предусмотрены дополнительные регуляторы напряжения.

3. Компоненты

3.1. Управляющая схема (рис. 2)

Микроконтроллер, который является ключевым элементом конструкции, отвечает за генерацию ШИМ-сигналов, связь с колориметрическим датчиком и регулирование света настольной лампы в соответствии с алгоритмом управления. Для этой конструкции был выбран 8-разрядный микроконтроллер *8051F330* компании *Silicon Laboratories*, который включает в себя высокоскоростное 8051-совместимое ядро микроконтроллера с конвейерной обработкой данных и различные периферийные устройства. Помимо разнообразных цифровых интерфейсов, таких как системная управляющая шина (*SMBus*), универсальный асинхронный интерфейс (*UART*) и последовательный периферийный интерфейс (*SPI*), *C8051F330* содержит ещё и многочисленные счётчики и может генерировать ШИМ-сигналы в 4-х независимых каналах, что прекрасно удовлетворяет предъявляемые к конструкции требования.

3.2. Колориметрический датчик

Для обеспечения заданных значений освещённости на рабочей плоскости и КЦТ при комбинированном освещении, в рассматриваемой конструкции используется 4-канальный цифровой колориметрический датчик *TCS3414CS* компании *AMS*. Этот датчик включает в себя матрицу из 8x2 снабжённых светофильтрами фотодиодов, аналого-цифровые преобразователи и УУ, расположенные на одной монолитной интегральной микросхеме на комплементарных МОП-транзисторах. Из 16-ти фотодиодов, 4 снабжены красными светофильтрами, 4 – зелёными светофильтрами и 4 – синими светофильтрами, а остальные 4 фотодиода светофильтров не имеют. На рис. 3а приведена кривая спектральной чувствительности датчика *TCS3414CS*, на рис. 3б приведены спектральные кривые чувствительности человеческого глаза, а на рис. 3г проведено сравнение этих нормированных кривых.

Т.к. длины волн и значения полной ширины на половине максимума у пиков кривых чувствительности датчика и человеческого глаза почти совпадают, то микроконтроллер может рассчитать значения освещённости и КЦТ и использовать полученные результаты как основу для регулирования. Расчёт освещённости осуществляется в соответствии с уравнением (1), а уравнения (2) – (5) отображают процесс определения КЦТ [5, 6]:

$$E = (-0.32466)R + (1.57837)G + \\ + (-0.73191)B. \quad (1)$$

$$\begin{cases} X = (-0.14282)R + \\ +(1354924)G + (-0.95641)B \\ Y = (-0.32466)R + \\ +(1..57837)G + (-0.73191)B \\ Z = (-0.68202)R + \\ +(0.77073)G + (0.56332)B \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} x = X / (X + Y + Z) \\ y = Y / (X + Y + Z) \end{cases}, \quad (3)$$

$$n = (x - 0.3320) / (0.1858 - y), \quad (4)$$

$$CCT = 449n^3 + 3525n^2 + \\ + 6823.3n + 5. \quad (5)$$

где R, G и B – выходные сигналы красного, зелёного и синего каналов датчика *TCS3414CS* соответственно.

Связь между микроконтроллером и колориметрическим датчиком осуществляется при помощи шины межсоединений интегральных схем I^2C (рис. 4). Время накопления сигнала выбрано равным 154 мс.

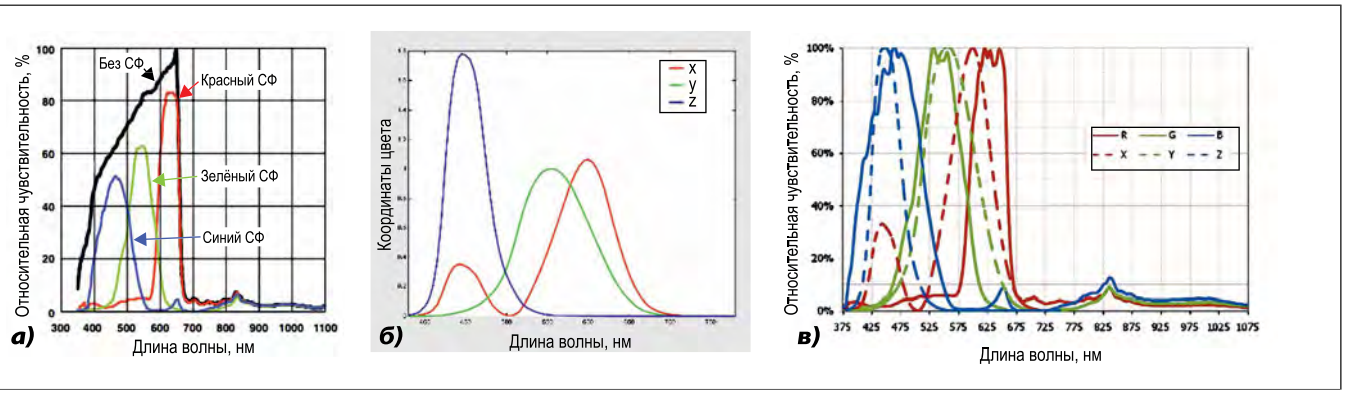


Рис. 3. *а* – Кривые чувствительности датчика *TCS3414CS* (СФ – светофильтр); *б* – кривые чувствительности человеческого глаза; *в* – сравнение нормированных кривых

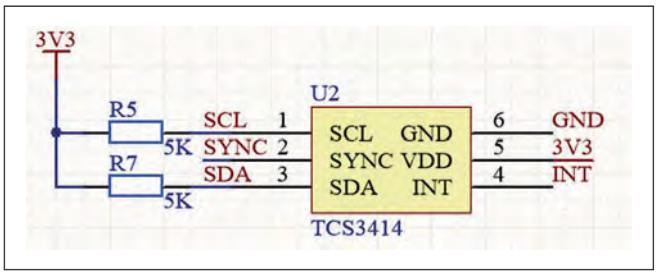


Рис. 4. Колориметрический датчик *TCS3414CS*

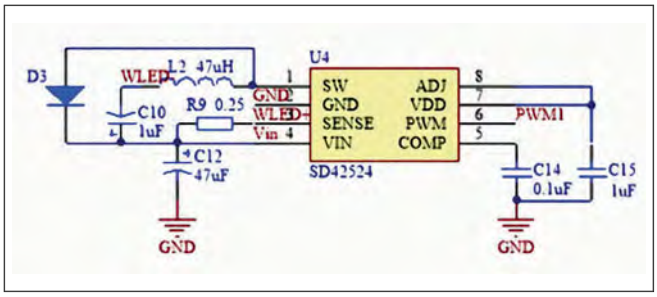


Рис. 5. Устройство управления для СД

3.3. Устройства управления для СД

УУ для СД играют важную роль в конструкции описываемой настольной лампы. Общими требованиями к УУ являются высокий КПД и хорошая точность управления режимом работы СД [7]. Для модулирования светового потока в рассматриваемой конструкции использовались преимущества, предоставляемые высокоэффективным УУ *SD42524* компании *Silan* с пошаговым управлением ШИМ. При равном 12 В входном напряжении постоянного тока, это УУ может обеспечить равный 1 А непрерывный выходной ток с защитой от перегрева и ограничением тока. Две микросхемы *SD42524* используются для независимого задания двух различных значений КЦТ излучения СД. Для упрощения алгоритма управления, УУ для СД регулируются таким образом, чтобы суммарный световой поток СД с КЦТ 2600 К был равен суммарному световому потоку СД с КЦТ 6500 К при равных 1 одинаковых коэффициентах заполнения. Схема УУ для СД приведена на рис. 5.

4. Светорегулирование

В описываемой конструкции используется двухступенчатое светорегулирование, которое позволяет обеспечить требуемое значение освещённости на рабочей плоскости, настроить КЦТ комбинированного освещения и поддерживать неизменность освещения.

Вначале микроконтроллер получает от колориметрического датчика текущее значение освещённости и сравнивает его с требуемым значением:

$$e = E_m - E_t, \qquad (6)$$

где E_m и E_t – измеренное и требуемое значения освещённости соответственно. Если абсолютное значение e окажется выше порогового, то микроконтроллер одновременно увеличит (если $e > 0$) или уменьшит (если $e < 0$) в одинаковое количество раз выходные мощности обоих УУ. Обычно после нескольких циклов регулирования с использованием отрицательной обратной связи разница между измеренным и требуемым значениями освещённости уменьшается до пороговой.

После выполнения требования к освещённости наступает вторая стадия светорегулирования, направленная на обеспечение постоянства КЦТ комбинированного освещения. Как и в случае освещённости, сначала определяется разница между реальным и заданным значениями КЦТ. Затем, если имеет место превышение порогового значения разности КЦТ, микроконтроллер изменит в одинаковое количество раз, но в разных направлениях, выходные токи обоих УУ. Например, если измеренное значение КЦТ превышает требуемое, то световой поток СД тёпло-белого света будет увеличен, тогда как световой поток СД холодно-белого света будет уменьшен. И наоборот.

Для обеспечения плавности изменения модуляции, настройка как освещённости, так и КЦТ осуществлялась посредство регулирования по отклонению [8]. Для примера рассмотрим регулирование освещённости, когда объектом регулирования служит коэффициент заполнения ШИМ-сигнала, который рассчитывался по формуле:

$$D(n+1) = D(n) + P \cdot e, \qquad (7)$$

где $D(n)$ – текущий коэффициент заполнения, $D(n+1)$ – коэффициент заполнения в следующий момент, P – коэффициент пропорциональности. Значение P нельзя делать ни слишком большим, ни слишком малым, т.к. это приведёт к нестабильности светового потока или к необходимости увеличения количества циклов регулирования, необходимых для получения требуемого значения освещённости. Для рассматриваемой конструкции значение P определялось при помощи следующего эмпирического выражения:

$$P = \frac{0.0002\left(E_t - E_a\right)}{E_{LED}}, \qquad (8)$$

где E_a – освещённость, создаваемая общим освещением, которую можно измерить при выключенных СД, а E_{LED} – максимальная освещённость, которую могут создать на рабочей плоскости СД, относящиеся к одному отдельно взятому каналу. Этот же коэффициент пропорциональности используется и применительно к регулированию КЦТ.

5. Имитационные эксперименты и их результаты

Для проверки системы регулирования были проведены две серии имитационных экспериментов. Как показано на рис. 6, СД матрица закреплялась на регулируемом держателе, а плата управления была размещена на столе рядом с держателем. Расстояние между СД матрицей и смонтированном на печатной плате колориметрическим датчиком было равно примерно 50 см, что соответствует типичному для чтения расстоянию.

Эксперимент № 1:

Требуемая освещённость: 500 лк, отклонение – 50 лк.

Результаты измерений приведены в табл. 1.

Эксперимент № 2:

Требуемая освещённость: 750 лк, отклонение – 50 лк.

Таблица 1

Значения освещённости и КЦТ при различных вариантах проведения эксперимента № 1

Вариант	Освещённость, лк (светильник с СД выключен)	КЦТ, К (светильник с СД выключен)	Освещённость, лк (светильник с СД включён)	КЦТ, К (светильник с СД включён)
Все прочие источники света выключены в ночное время	0	–	495	4033
Включена отдалённая люминесцентная лампа	208	3123	506	3965
Включена расположенная поблизости люминесцентная лампа	385	3353	497	3950
Открытые окна в полдень	244	4698	513	4076

Таблица 2

Значения освещённости и $T_ц$ при различных вариантах проведения эксперимента № 2

Вариант	Освещённость, лк (светильник с СД выключен)	КЦТ, К (светильник с СД выключен)	Освещённость, лк (светильник с СД включён)	КЦТ, К (светильник с СД включён)
Все прочие источники света выключены в ночное время	0	–	746	5023
Включена отдалённая люминесцентная лампа	200	3221	756	5095
Включена расположенная поблизости люминесцентная лампа	392	3307	743	4952
Открытые окна в полдень	256	4701	771	5026

Требуемая КЦТ: 5000 К, отклонение – 100 К.

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Из результатов экспериментов можно сделать вывод, что при разных условиях освещённость изменяется в пределах 3 %, а КЦТ – в пределах 2 %. Для стабилизации светового потока требуется не более 20 циклов регулирования с использованием обратной связи, то есть меньше чем 3 с.

Рис. 6. Имитационный эксперимент

6. Заключение

В статье описана конструкция самонастраивающейся настольной лампы с СД. Освещённость на рабочей плоскости и КЦТ комбинированного освещения измеряются многоканальным колориметрическим датчиком *TCS3414CS*. На основе показаний датчика, встроенный микроконтроллер осуществляет регулирование выходных сигналов УУ для СД, так чтобы поддерживать постоянство освещения. Результаты экспериментов показали, что независимо от изменений как освещённости, создаваемой общим освещением, так и его КЦТ, настольная лампа с СД может обеспечить удовлетворительное освещение, характеризующееся требуемыми значениями освещённости и КЦТ и созданием комфортных для пользователя условий. Конкретная механическая конструкция настольной лампы в статье не приведена, но при реальном производстве плата управления может быть размещена в основании лампы с маленьким люком над датчиком цвета, что позволяет проводить измерения параметров освещения.

Аймин Гэ благодарит Китайский совет по предоставлению стипендий за финансирование исследований, которые он проводил в Университете шт. Юта и Университете шт. Калифорния, Мерсед, США (грант № 2010610538). Данное исследование финансировалось Шанхайским естественнонаучным фондом, Китай (грант № *15ZR1402400*).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cong-Hong, L.I., Yan, Y.* A new design of the intelligent LED table lamp // Information Technology. – 2013.

2. *Chou, C.W., Chiang, Y.H., Tu, H.W., et al.* Effect of LED desk lamp for working efficiency // International Conference on Electrical and Control Engineering. IEEE, 2011:5868–5872.

3. *Caicedo, D, Li, S., Pandharipande, A.* Smart lighting control with workspace and ceiling sensors // Lighting Research & Technology. – 2017. – Vol. 49. – No. 4. – P. 446–460.

4. *Anandan, M.* Color sensor integrated light emitting diode for LED backlight // US patent No. US20070170449. 2007.

5. *Smith, J.* Calculating Color Temperature and Illuminance using the TAOS TCS3414CS Digital Color Sensor // Intell. OPTO Sens. – 2009. – Vol. 25. – P. 1–7.

6. Ohno, Y., Hardis, J.E. Four-Color Matrix Method for Correction of Tristimulus Colorime-

ters // Proc. 5th Color Imaging Conf.: Color Science, Systems and Applications, 1997. – P. 65–68.

7. *Chiu, H.J., Lo, Y. K., Chen, J.T,, et al.* A High-Efficiency Dimmable LED Driver for Low-Power Lighting Applications // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2010. – Vol. 57, No. 2. – P. 735–743.

8. *Mahdavian, M., Wattanapongsakorn, N.* PID controller tuning and optimizing for greenhouse lighting application considering real-time pricing in the smart grid // Proc. 17th Int. Computer Science and Engineering Conf. (ICSEC2013), 4–6.09.2013, Nakorn Pathom, Thailand. – P. 85–90.

***Гэ Аймин** (Ge Aiming), Ph.D. Доцент Университета Фудан. Область научных интересов: теория и техника оптоэлектронных систем, проектирование оптических систем для создания изображений и освещения, точные измерения и измерительные приборы и т.д.*

***Чжу Лин** (Zhu Ling). Область научных интересов: оптические устройства и системы на основе поверхностей произвольной формы, эффективные автомобильные осветительные приборы, например, фонари заднего хода*

***Синьжань Тао** (Xinran Tao), аспирант Университета Фудан. Область научных интересов: оптические элементы из материалов с изменяющимися показателями преломления и новые методы проектирования оптических систем*

***Рулон Хао** (Rulong Hao), Ph.D. Обучается в Университете Фудан. Область научных интересов: оптические системы для создания изображений и освещения, комбинированные системы освещения*

***Чэнь Цзинюй** (Chen Jingyu), обучается в магистратуре Университета Фудан. Область научных интересов: интеллектуальные системы управления освещением и соответствующие оптические системы, совмещение освещения светодиодами и естественного освещения*

Извинения редакции

Редакция журнала приносит свои извинения авторам статьи **Матвееву Н.В. и Пашкевич М.Л. «Влияние драматургии светового сценария на эффективность сеанса аудио-визуальной стимуляции»**, опубликованной в журнале № 4 за 2017 г., в которой по вине редакции допущена ошибка: не приведены данные статистической обработки результатов.

Ниже приведены эти результаты.

Статистическая достоверность результатов экспериментов была определена по критерию Вилкоксона (*Wilcoxon signed-rank test*) [8] с помощью пакета *SPSS Statistics*. Рассчитывались значения сдвигов, проводилось их ранжирование и определялись значения p-уровня для количества просмотренных символов и общего количества ошибок для каждой фокус-группы. Средние значения, средняя ошибка исходных измеренных параметров и значения p-уровня представлены в таблице 1. Минимальное значение p-уровня составляет p=0.12.

В таблице 2 представлены средние значения сдвигов показателей точности, скорости переработки информации и рассчитанные по ним средние сдвиги показателя продуктивности для каждого типа контента.

Таблица 1. **Значение p-уровня по критерию Вилкоксона**

Динамика изменения спектра	$n_{ср}$	SD_n	p	$N_{ср}$	SD_N	p
Оригинальный сценарий	0.865	0.016	0.08	1.541	0.049	0.09
Без динамики, λ=445 нм	0.925	0.021	0.08	2.136	0.093	0.09
Без динамики, λ=520 нм	0.909	0.032	0.11	1.844	0.106	0.12
Без динамики, λ=637 нм	0.918	0.016	0.08	1.859	0.121	0.10

Таблица 2. **Изменение показателей для разных типов контента**

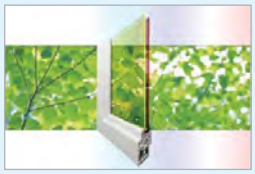
Динамика изменения спектра	$\Delta n_{ср}$	$\Delta N_{ср}$	$\Delta S_{ср}$
Оригинальный сценарий	–2 %	10 %	11 %
Без динамики, λ=445 нм	–2 %	6 %	8 %
Без динамики, λ=520 нм	–3 %	–1 %	0 %
Без динамики, λ=637 нм	0 %	5 %	5 %

Модифицированые квантовые точки снизят стоимость электроэнергии

В Лос-Аламосской национальной лаборатории Минэнерго США разработан прототип двуслойного оконного стеклопакета, который, наряду с задачами пропускания света, тепло- и звукоизоляции выполняет функции высокоэффективной солнечной батареи.

Реализовать это удалось, объединив люминесцентный солнечный концентратор и тандемную конструкцию из двух слоёв недорогих, получаемых из раствора квантовых точек, которые поглощают свет в разных частях спектра солнечного излучения.

Квантовые точки были модифицированы добавлением ионов марганца, играющих роль примесей с высокой излучательной способностью. Поглощаемый квантовыми точками свет активирует эти примеси, после чего ионы марганца испускают фотоны с энергией ниже порога поглощения квантовой точки. Этот трюк позволил практически избавиться от потерь, связанных с самопоглощением в квантовых точках.



Слой таких легированных марганцем квантовых точек наносится на поверхность фронтального стекла для поглощения голубого и ультрафиолетового участков спектра. Улавливание остальных фотонов осуществляется на заднем стекле, покрытом слоем квантовых точек из селенида меди/индия.

Генерируемые путём переизлучения длинноволновые фотоны испытывают полное внутреннее переотражение в стекле и направляются к его краям, где интегрированные в раму солнечные элементы преобразуют их в электричество.

nanonewsnet.ru
03.01.2018

Естественное освещение при ручном регулировании солнцезащитных устройств[1]

Ц. ЯО

Университет г. Нинбо, Китай
E-Mail: yaojian@nbu.edu.cn

Аннотация

Проведено сравнение естественного освещения при наличии солнцезащитных устройств (СЗУ) с естественным освещением, обеспечиваемым двумя обычными вариантами окон. Стохастическая модель, разработанная для регулируемых вручную СЗУ, была использована для проведения совместного моделирования при помощи компьютерной программы *BCVTB*. Полученные результаты говорят о том, что по сравнению с обычными окнами регулируемые вручную СЗУ приводят к увеличению полезной естественной освещённости на примерно 160 % при менее значительных колебаниях естественной освещённости в помещении. Кроме того, установлено, что пользователи помещений эффективно регулируют СЗУ в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование СЗУ можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

Ключевые слова: регулируемые вручную солнцезащитные устройства, естественное освещение, полезная естественная освещённость.

1. Введение

Естественное внутреннее освещение – это контролируемый доступ дневного света в здание, позволяющий уменьшить количество энергии, расходуемой на искусственное освещение. При обеспечении непосредственной связи с непрерывным динамическим изменением наружного освещения, естественное внутреннее освещение помогает сформировать стимулирующую и продуктивную визуальную среду для пользователей зданий. Считается, что естественное освещение имеет большое значение для обеспечения удовлетворённости офисных работников, т.к. оно создаёт психологически приятную обстановку, тогда как системы искусственного освещения формируют равномерную и монотонную визуальную среду. Для того, чтобы максимально использовать естественное освещение, здания в настоящее время проектируются с большими окнами или застеклёнными наружными стенами, что, в свою очередь, может увеличить нагрузку на системы охлаждения летом и потери тепла зимой. Интенсивное естественное освещение приводит к повышенной блёскости в периферийной зоне, а естественное освещение со слишком большой солнечной составляющей приводит к увеличению расхода энергии на охлаждение помещений. Кроме того, попадание прямого солнечного света в глаза пользователей зданий может производить ослепляющий эффект, отрицательно влияющий на зрение людей и на их способность выполнять работу, так что его следует избегать. Для управления естественным освещением обычно используются солнцезащитные устройства (СЗУ), которые могут предотвратить перегрев, уменьшить расход энергии на обогрев и охлаждение помещений и обеспечить возможность управления визуальной средой.

Об использовании СЗУ, позволяющих уменьшить потребление энергии и регулировать естественное освещение, сообщали многие исследователи. Например, в [1] применительно к средиземноморскому климату было проведено сравнение коэффициентов естественной освещённости при использовании различных фиксированных СЗУ. В [2] исследовалось влияние нависающих элементов и боковых ламелей на естественное освещение офисов открытого типа. Такие СЗУ закрепляются на здании и должны быть достаточно длинными, чтобы препятствовать проникновению избыточного дневного света, обусловленного относительно малой угловой высотой солнца в восточном и западном направлениях. С другой стороны, передвижные СЗУ могут регулироваться в соответствии с изменяющимися наружными условиями, с тем чтобы минимизировать расход энергии на освещение и, в то же время, обеспечивать комфортное естественное освещение. В [3] было исследовано влияние нефиксированных СЗУ на естественное освещение в офисных зданиях. В результате было установлено, что использование динамической солнцезащиты привело к значительному улучшению естественного освещения по сравнением со случаем использования фиксированных СЗУ.

Однако упомянутое исследование проводилось применительно к автоматическим СЗУ, нуждающимся в сложной системе управления для обеспечения частых изменений положения или углов СЗУ и более дорогостоящих по сравнению с регулируемыми вручную СЗУ. В Китае в большинстве офисных зданий используются только регулируемые вручную рулонные СЗУ [4]. Кроме того, осуществляемое пользователями зданий регулирование СЗУ не столь эффективно, как автоматические системы, так как эти пользователи ведут себя стохастически [5–7]. Поэтому при рассмотрении влияния регулируемых вручную СЗУ на естественное освещение следует принимать во внимание стохастические характеристики поведения пользователей зданий.

2. Методология

2.1. Модель здания

В данной работе использовалась модель типичного офисного помещения размером 4 х 4 х 3 м с окном размером 3,8 х 2,8 м, которое выходило на юг (рис. 1). Для сравнения естественного освещения при использовании регулируемых вручную СЗУ с освещением при отсутствии СЗУ были рассмотрены три варианта. Первые два варианта (окно с двойным прозрачным остеклением (ДПО) и окно с двойным энергосберегающим остеклением (ДЭО)) наиболее распространены в рассматриваемом регионе. Последний вариант предусматривал использование регулируемых вручную наружных СЗУ (НСЗУ). Характеристики офисного помещения и всех трёх вариантов приведены в табл. 1.

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

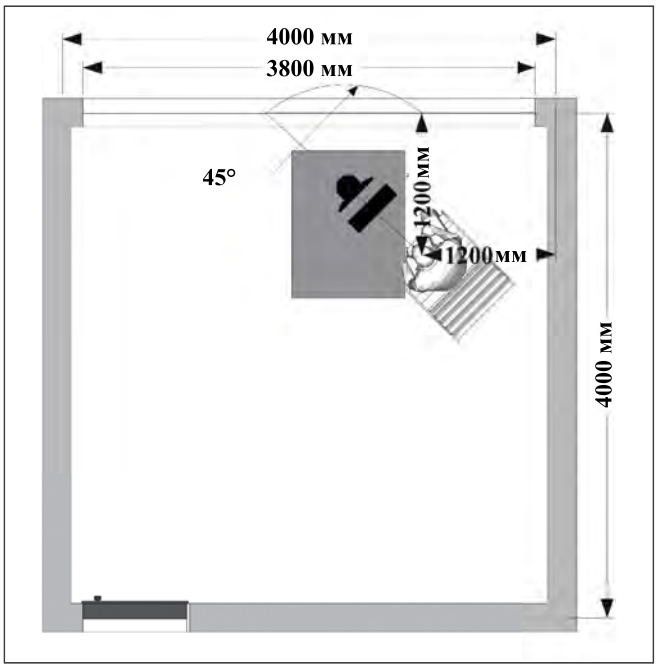


Рис. 1. Модель помещения с указанием рабочего места (юг расположен вверху рисунка)

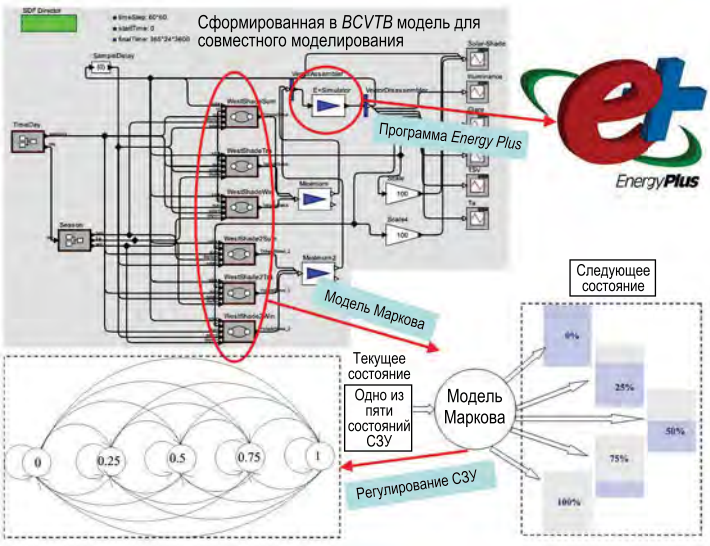


Рис. 2. Графическое представление разработанной модели для проведения совместного моделирования влияния СЗУ на естественное освещение

2.2. Стохастическая модель работы регулируемых вручную СЗУ

В этой статье для исследования влияния регулируемых вручную СЗУ на естественное освещение использовалась модель, разработанная автором ранее [4]. Эта модель была сформирована на основе результатов полевых исследований типичного многоэтажного остеклённого здания, расположенного в районе Китая с жарким летом и холодной зимой. При проведении измерений использовались пиранометр *ТВ-2* и регистрирующий прибор *ТС-2*, которые были установлены на крыше здания для измерения суммарного солнечного излучения на южном фасаде, а настройка СЗУ, установленного на южном фасаде остеклённого здания в г. Нинбо (примерно 30° с.ш.), регистрировалась посредством фотографирования СЗУ, осуществляемого вручную с интервалом 1 ч. Так как предыдущие исследования показали, что рассмотрения пяти состояний СЗУ вполне достаточно для моделирования освещения в здании [4], то осуществляемое пользователями регулирование было разбито на пять состояний СЗУ (0, 25, 50, 75 и 100 % затенением поверхности окна). Измерения проводились в 2011 г. на протяжении всего года. Хотя на управление СЗУ влияют многие факторы, такие как естественная освещённость и блёскость, их можно прямо или опосредованно связать с солнечным излучением, так что коэффициент естественной освещённости не измерялся. Логистический регрессивный анализ, проведённый после завершения полевых измерений, показал, что регулирование СЗУ зависит, главным образом, от солнечного излучения (если сравнивать с другими факторами, такими как температура наружного воздуха). Поэтому для построения стохастической модели регулирования СЗУ исходя из уровня солнечного излучения была применена цепь Маркова, причём была рассчитана и классифицирована переходная матрица цепи Маркова (вероятность перехода СЗУ из текущего состояния в следующее) для различных состояний неба. Для лучшего моделирования регулирования СЗУ, осуществляемого пользователями здания при различных состояниях неба, в качестве разделительной линии при формировании переходной матрицы был введён пороговый уровень прямого солнечного излучения (в соответствии с результатами полевых измерений, он был принят равным примерно 300 Вт/м^2). После этого модель Маркова для СЗУ была сформирована в *BCVTB* для совместного моделирования с программой *EnergyPlus*. На каждом шаге *BCVTB* оценивает полученную при помощи *EnergyPlus* энергетическую освещённость, создаваемую солнечным излучением на окнах, а затем в соответствии с распределением вероятности случайным образом определяет положение СЗУ, которое затем используется при моделировании, осуществляемом при помощи программы *EnergyPlus*. Краткое описание того, как сформирована эта стохастичекая модель и как осуществляется совместное моделирование, можно найти на рис. 2. Более подробное описание этой стохастической модели и совместного моделирования приведено в [4].

2.3. Эксплуатационные показатели

Для всесторонней оценки уровня естественного освещения и защиты от блёскости были использованы три показателя: полезная естественная ос-

Таблица 1

Характеристики офисного помещения

Параметр	Значение
Местоположение	Город Нинбо, Китай. 30° с.ш., 120° в.д.
Ориентация помещения	Юг
Размеры	Помещение: 4 х 4 х3 м, окно: 3,8 х 2,8 м.
Окно и СЗУ	Три варианта окон для сравнения: 1) Окно с двойным прозрачным остеклением (ДПО), коэффициент пропускания = 0,89. 2) Окно с двойным энергосберегающим остеклением (ДЭО), коэффициент пропускания = 0,69. 3) Окно с двойным прозрачным остеклением + регулируемое вручную наружное СЗУ (НСЗУ), коэффициент пропускания материала СЗУ = 0,2.
Местоположение точки расчёта естественной освещённости	Показанное на рис. 1 местоположение пользователя помещения, на высоте 0,75 м от уровня пола.

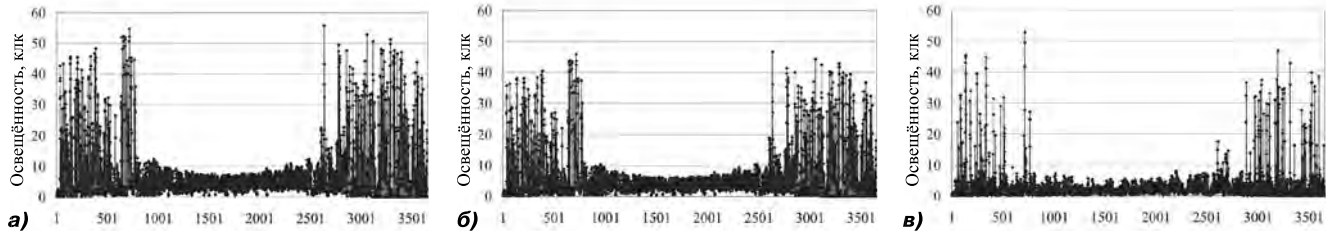


Рис. 3. Естественная освещённость в рабочие часы для трёх рассмотренных вариантов: *а* – ДПО; *б* – ДЭО; *в* – НСЗУ (номер расчётной точки = (D-1) x 10 + m, где D – день года, m = 1 для 8:00, 2 для 9:00, ..., 9 для 16:00, 10 для 17:00)

вещённость (ПЕО), колебания естественной освещённости и распределение естественной освещённости. ПЕО соответствует условиям, когда уровни освещённости полезны для пользователя зданием, то есть когда освещённость превышает 300 лк (уже не темно) [8] и меньше, чем 2000 лк (ещё не слишком ярко) [9]. Если естественная освещённость оказывается меньшей, чем 300 лк, то может потребоваться дополнительное искусственное освещение, тогда как если естественная освещённость превышает 2000 лк, то может возникнуть блёскость.

Колебания естественной освещённости также имеют большое значение для оценки естественного освещения. В настоящее время нет ни уравнения, ни показателя, которые позволили бы оценить колебания естественной освещённости, так что в качестве соответствующего показателя автор использовал среднеквадратическое отклонение естественной освещённости E_σ, которое можно записать как:

$$E_\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(E_i - E_{ave})^2}, \qquad (1)$$

где N – количество расчётных точек в пределах рабочего дня (с 8:00 до 17:00, 10 точек: 8:00, 9:00, …, 17:00), E_i – естественная освещённость, соответствующая i-ой расчётной точке, а E_{ave} – средняя за рабочий день естественная освещённость, рассчитываемая по формуле:

$$E_{ave} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}E_i. \qquad (2)$$

3. Результаты и обсуждение

3.1. Полезная естественная освещённость

Естественная освещённость в рабочие часы приведена на рис. 3 для всех трёх вариантов. Вариантам с незатенёнными окнами (ДПО и ДЭО) соответствуют большие, чем в случае

Таблица 2

Распределение естественной освещённости

Естественная освещённость, лк	ДПО		ДЭО		НСЗУ	
	Часы	Проценты	Часы	Проценты	Часы	Проценты
< 300	89	2,44	95	2,60	229	6,27
300–2000	470	12,88	597	16,36	1553	42,55
> 2000	3091	84,68	2958	81,04	1868	51,18

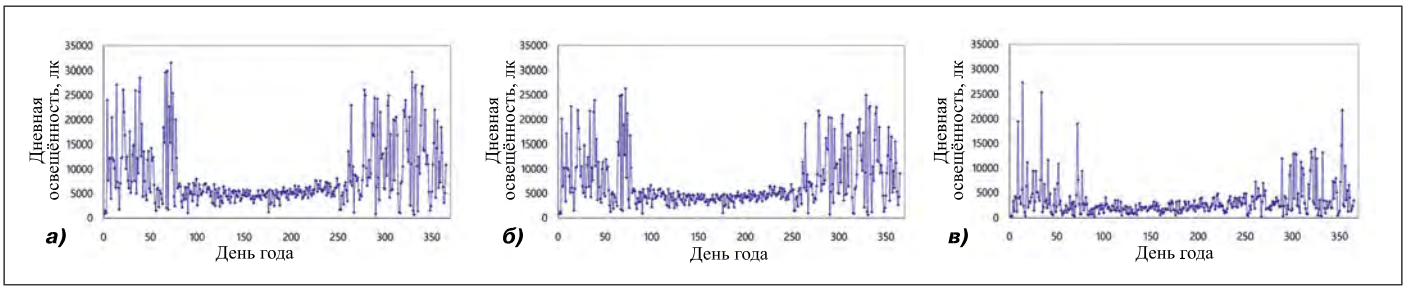


Рис. 4. Средняя дневная естественная освещённость для трёх рассмотренных вариантов: *а* – ДПО; *б* – ДЭО; *в* – НСЗУ

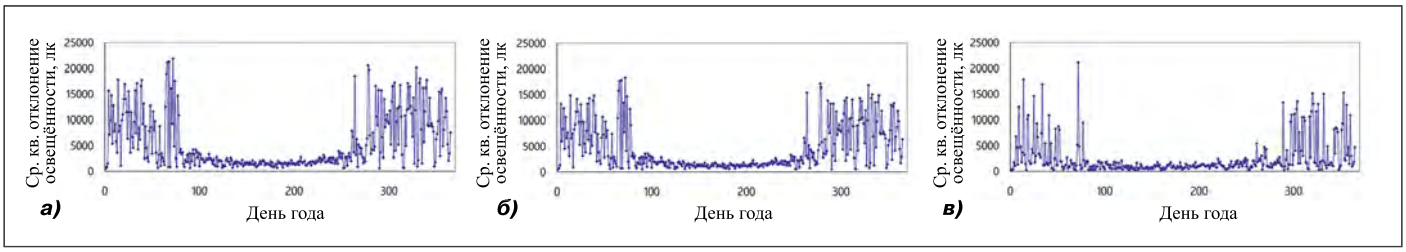


Рис. 5. Дневные среднеквадратические отклонения естественной освещённости для трёх рассмотренных вариантов: *а* – ДПО; *б* – ДЭО; *в* – НСЗУ

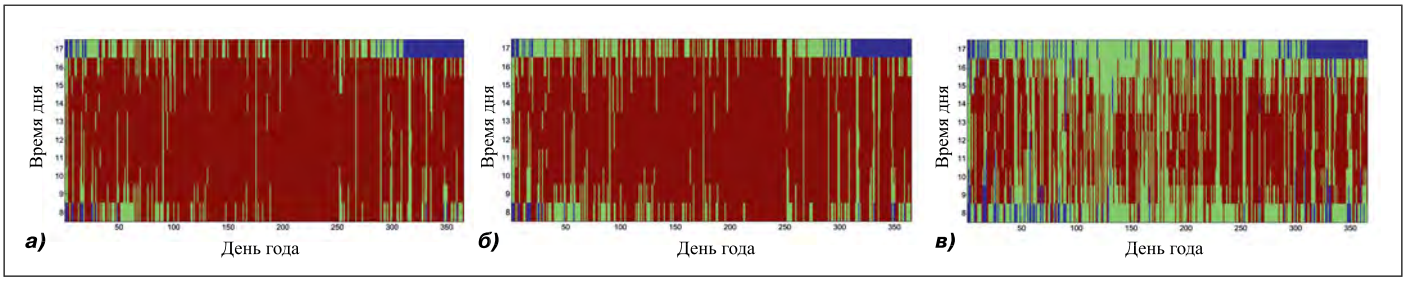


Рис. 6. Годовое распределение естественной освещённости в рабочие часы для трёх рассмотренных вариантов (синий цвет – < 300 лк, зелёный цвет – 300–2000 лк (ПЕО), красный цвет – > 2000 лк): *а* – ДПО; *б* – ДЭО; *в* – НСЗУ

НСЗУ, количества часов с высокой естественной освещённостью. Естественная освещённость была дополнительно разделена на три группы в соответствии с ПЕО (табл. 2). В случае НСЗУ ПЕО реализовывалась в течение 1553 ч, что соответствует 42,55 % рабочего времени, затем следует ДЭО (597 ч, 16,36 %), а самый плохой результат был получен в случае ДПО (470 ч, 12,88 %). А это означает, что регулируемые вручную СЗУ работают лучше, чем два других варианта, на примерно 160 %. Хотя у регулируемых вручную СЗУ и имеется небольшой недостаток, связанный с большим количеством часов, когда естественная освещённость оказывается меньшей, чем 300 лк, большее значение имеет их преимущество, которое заключается в уменьшении потенциальной опасности возникновения блёскости благодаря уменьшению на более чем 100 ч по сравнению с ДПО и ДЭО периода, когда естественная освещённость превышает 2000 лк.

3.2. Колебания естественной освещённости

Средняя дневная естественная освещённость приведена на рис. 4 для всех трёх вариантов. В случаях ДПО и ДЭО этот показатель превышает 5000 лк, тогда как в случае НСЗУ он составляет всего лишь примерно 2500 лк. Это означает, что применительно к ПЕО регулируемые вручную СЗУ оказались эффективнее незащищённых окон (с ДПО и ДЭО). С другой стороны, из рис. 5, на котором приведены дневные среднеквадратические отклонения естественной освещённости, следует, что регулируемые вручную СЗУ также действуют на 44–53 % лучше, чем, соответственно, ДЭО и ДПО, применительно и к этому показателю (см. табл. 3). Последнее объясняется тем, что пользователи помещения могут вручную регулировать СЗУ в соответствии с изменяющимся состоянием неба, благодаря чему естественная освещённость в рабочей зоне будет поддерживаться на сравнительно комфортном уровне.

3.3. Распределение естественной освещённости

Из-за стохастического характера осуществляемого пользователями помещений ручного регулирования СЗУ, важно понимать, когда СЗУ устанавливаются в такое положение, что естественная освещённость остаётся в пределах ПЕО (300–2000 лк). На рис. 6 для всех трёх вариантов приведено распределение естественной освещённости в рабочее время на протяжении всего года. На рисунке видно, что ДПО и ДЭО работают схожим образом с почти одним и тем же распределением естественной освещённости. Это связано с тем, что и ДПО, и ДЭО – это, в сущности, прозрачные окна, несколько отличающиеся друг от друга коэффициентами пропускания. И в их случаях ПЕО обеспечивается только ранним утром и в предвечернее время, когда солнце

Таблица 3

E_{ave} и E_{σ} для трёх вариантов

	ДПО	ДЭО	НСЗУ
E_{ave}, лк	8461,48	7081,41	3358,12
E_{σ}, лк	5341,93	4471,99	2524,83

светит не очень ярко. В то же время, варианту НСЗУ на протяжении всего дня соответствует более обширная зелёная область, что особенно заметно в конце весны и начале лета и обусловлено более частым использованием СЗУ по сравнению с остальными временами года. Из рис. 6 следует, что пользователи помещения эффективно используют СЗУ именно в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

4. Заключение

В статье проведено моделирование естественного освещения при наличии управляемых вручную СЗУ, и полученные при этом результаты сравниваются с соответствующими двум обычным вариантам окон. В результате было получено, что использование регулируемых вручную СЗУ приводит к увеличению периода ПЕО на примерно 160 % по сравнению с обычными окнами при менее значительных колебаниях естественной освещённости. Кроме того, было установлено, что пользователи помещения эффективно используют СЗУ в конце весны и начале лета, тогда как в остальные времена года ручное регулирование можно усовершенствовать для улучшения естественного освещения.

Эта работа финансировалась Национальной программой НИОКР в области важнейших технологий Министерства науки и техники (грант 2013BAJ10B06), и кроме того, автор хотел бы выразить свою благодарность фонду *K.C. Wong Magna Fund* Университета г. Нинбо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Stazi, F., Marinelli, S., Di Perna, C., Munafò, P.* Comparison on solar shadings: Monitoring of the thermo-physical behaviour, assessment of the energy saving, thermal comfort, natural lighting and environmental impact // SOL ENERGY. – 2014. – Vol. 105. – P. 512–528.

2. *Esquivias, P., Munoz, C., Acosta, I., Moreno, D., Navarro, J.* ДПОimate-based daylight analysis of fixed shading devices in an open-plan office // Lighting Research and Technology. – 2015. – Vol. 48. – No. 2. – P. 205–220.

3. *Nielsen, M.V., Svendsen, S., Jensen, L.B.* Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight // SOL ENERGY. – 2011. – Vol. 85. – P. 757–768.

4. *Yao, J.* Determining the energy performance of manually controlled solar НСЗУs: A stochastic model based co-simulation analysis // APPL ENERG. – 2014. – Vol. 127. – P. 64–80.

5. *Sun, K., Yan, D., Hong, T., Guo, S.* Stochastic Modeling of Overtime Occupancy and Its Application in Building Energy Simulation and Calibration // BUILD ENVIRON. – 2014. – Vol. 79. – P. 1–12.

6. *Haldi, F., Robinson, D.* On the behaviour and adaptation of office occupants // BUILD ENVIRON. – 2008. – Vol. 43. – P. 2163–2177.

7. *Haldi, F., Robinson,* D. Adaptive actions on shading devices in response to local visual stimuli // J BUILD PERFORM SIMU. – 2010. – Vol. 3, No. 2. – P. 135–153.

8. China Academy Of Building Research, Standardforlightingdesignofbuildings, GB50034–2013. Beijing: China Architecture and Building Press, 2013.

9. *Nabil, A., Mardaljevic, J.* Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors // ENERG BUILDINGS. – 2006. – Vol. 38. – P. 905–913.

Цзянь Яо (Jian Yao), *Ph.D. (2013 г.). Доцент Университета г. Нинбо, Китай. Область научных интересов: солнцезащитные устройства, естественное освещение, тепловой комфорт внутри помещений и энергетическая оптимизация зданий. Автор более 20-ти статей в авторитетных международных журналах.*

Создан датчик, способный с высокой скоростью снимать высококачественные изображения в условиях недостаточной освещённости

Инженеры из Дартмутского колледжа (Ханover, Нью-Гэмпшир, США) разработали и изготовили опытные образцы сенсоров, в которых заложена радикально новая технология формирования изображений, получившая название «квантовый фотосенсор» (*Quanta Image Sensor, QIS*). Основным преимуществом новой технологии является возможность съёмки высококачественных изображений в условиях недостаточной освещённости. И такая возможность может произвести революцию в некоторых областях науки и техники, включая системы безопасности, фотографию, видеосъемку, медицину, фотометрию, астрономию, естествознание и т.п.

Для того, чтобы делать снимки в условиях слабого освещения, при свете Луны, например, фотографы используют длительные выдержки, время, в течение которого затвор камеры остаётся в открытом состоянии. Это время, в зависимости от условий, может исчисляться секундами, десятками секунд или даже минутами. Естественно, что столь длительное время экспозиции полностью лишает фотографов производить съёмку объектов, двигающихся даже с небольшой скоростью.

Датчик, основанный на технологии «*QIS*», может «ловить» даже единичные фотоны света, его опытный образец имеет разрешающую способность в один мегапиксель. Но, по мнению разработчиков данной технологии, не существует никаких помех для изготовления таких датчиков, разрешающая способность которых составит сотни мегапикселей, а скорость работы – тысячи кадров в секунду.

Самым примечательным является то, что, в отличие от других датчиков, способных улавливать единичные фотоны, новый *QIS*-датчик не требует охлаждения до криогенной температуры и работает при нормальной комнатной температуре. Для его изготовления используется стандартная *CMOS*-технология, что позволит без труда наладить в ближайшем времени выпуск таких датчиков, стоимость которых будет не так уж и высока. Данные исследования были проведены при содействии инженеров из компании *Rambus Inc*, и тайваньской компании *TSMC* (*Taiwan Semiconductor Manufacturing Corporation*), специализирующейся на производстве полупроводниковой продукции. А финансирование исследований обеспечило Агентство передовых оборонных исследовательских проектов Пентагона (*DARPA*). Разработчики и их партнёры организовали компанию *Gigajot Technology*, которая будет заниматься дальнейшими исследованиями и продвижением технологии «*QIS*» на потребительский рынок.

dailytechinfo.org
30.12.2017

Высокоэффективные укрывные материалы с квантовыми точками для теплиц

С.А. ПАВЛОВ[1], С.Л. КОРЯКИН[1, 2], Н.Е. ШЕРСТНЕВА[1], Е.Ю. МАКСИМОВА[1, 3], Е.М. АНТИПОВ[1,2]

[1] РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва
[2] МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
[3] E-mail: maksimovalkm@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрено применение преобразующих свет полимерных плёнок в качестве укрывных материалов для выращивания тепличных культур в закрытом грунте. Проанализирован эффект повышения уровня фотосинтетически активной радиации (ФАР) в теплице в зависимости от сезона, географической широты, склонения солнца, продолжительности светового дня и других астрономических параметров. Получены результаты по выращиванию ряда тепличных культур в тепличных хозяйствах, расположенных на широте Московской области. Получены заметное сокращение сроков вегетации, а также существенная – от 30 до 100 % – прибавка урожая по сравнению с контрольными условиями.

Ключевые слова: квантовые точки *CdSe/CdS/ZnS*, пик эмиссии, пик экситонного поглощения, люминесцирующие слои, преобразование света, фотосинтез, фотосинтетически активная радиация, ФАР.

Особенностью большинства процессов использования солнечной энергии является то обстоятельство, что спектр солнечного излучения далеко не всегда является оптимальным с точки зрения наиболее эффективного использования солнечной энергии, что в полной мере относится к такому важному для человечества процессу преобразования солнечной энергии, как фотосинтез.

Современной сельскохозяйственной наукой установлено, что фундаментальным фактором, ограничивающим возможную фотосинтетическую продуктивность зелёного растения, является количество квантов солнечного излучения, доступное для поглощения зелёным листом. Ещё в начале прошлого века К.А. Тимирязев пришёл к следующему фундаментальному выводу: «Мы можем доставить растению сколько угодно удобрений, сколько угодно воды, можем, пожалуй, оберегать его от холода в теплицах, можем ускорить круговорот углекислоты, но не получим органического вещества более того количества, которое соответствует количеству солнечной энергии, получаемой растением от солнца. Это – предел, преступить за который не во власти человека. Но раз мы узнаем этот предел, мы получим настоящую, строго научную меру для предела производительности данной площади земли, а, в то же время, будем в состоянии судить о том, насколько наши культуры приближаются к совершенству…»[1].

Изучение влияния спектрального состава света, проводимое как отечественными, так и зарубежными исследователями ещё с середины прошлого века, позволило достоверно установить влияние излучения различных спектральных диапазонов на рост и развитие растений. Многочисленные экспериментальные данные (например, [1–4]) показывают, что лист довольно сильно поглощает как в синей и ближней ультрафиолетовой областях спектра (350–450 нм), так и красной области видимого диапазона (600–650 нм). Минимум же поглощения приходится на зелёную область (500–550 нм), тогда как на длинах волн, больших, чем 750 нм, поглощение лучистой энергии практически не происходит. Некое поглощение возникает в ближней ИК-области, и обусловлено оно поглощением воды, содержащейся в листьях.

Наиболее физиологически важное поглощение лежит в области 600–700 нм и связано исключительно с хлоро-

[1] Цитируется по [19]

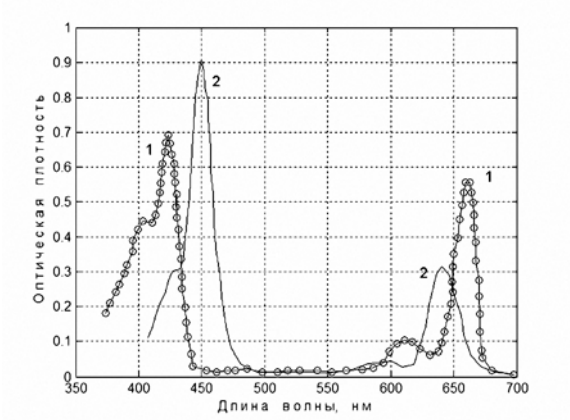


Рис. 1. Спектр поглощения хлорофилла в видимой области: 1 – хлорофилл *a*; 2 – хлорофилл *b*

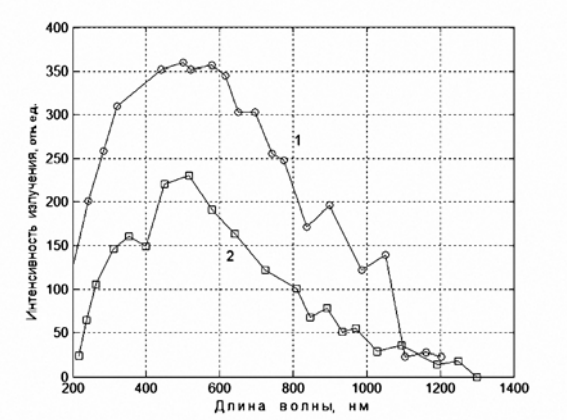


Рис. 2. Относительные спектральные распределения интенсивности прямого (1) и рассеянного (2) солнечного излучения

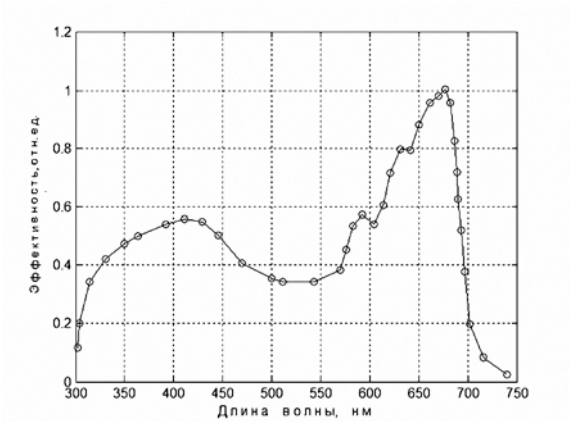


Рис. 3. Относительное спектральное распределение фотосинтетической эффективности излучения

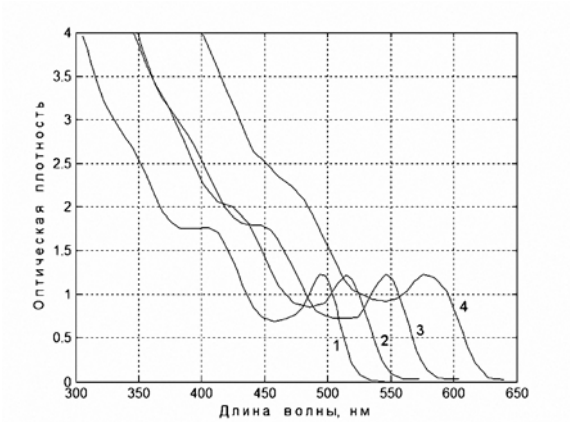


Рис. 4. Типичные спектры поглощения полиэтиленовых плёнок, содержащих квантовые точки различного размера, в видимой области спектра: 1–2,5 нм; 2–2,8 нм; 3–3,4 нм; 4–4,0 нм

филлом, и лишь малая часть приходится на некоторые другие пигменты, например, каротиноиды. Эта спектральная область называется «фотосинтетически активной радиацией» (ФАР). Типичный спектр поглощения хлорофилла зелёного листа приведён на рис. 1. Далее, на рис. 2 приведены известные спектральные распределения интенсивности прямого и рассеянного солнечного излучения, а на рис. 3 – графики относительного спектрального распределения эффективности фотосинтеза согласно Маккри [5]. В соответствие с приведёнными данными можно полагать, что повышение эффективности процесса фотосинтеза можно осуществить только за счёт специального добавления ФАР в необходимой спектральной области [6]. Действительно, сопоставление данных, приведённых на рис. 1 и 3, с солнечным спектром, приведённым на рис. 2, показывает, что максимум интенсивности солнечного излучения в любом случае не совпадает ни с максимумами поглощения хлорофилла, ни с областью максимума спектра действия для фотосинтеза. В данной работе мы не будем рассматривать причины такой «недоработки» эволюции, которые до настоящего времени окончательно не ясны [4, 7]. Здесь важно отметить то, что наиболее ценное с точки зрения биопродуктивности излучение лежит в красной области спектра (600–670 нм).

Для коррекции солнечного спектра с целью увеличения его фотосинтетической эффективности, нами предложено использование фотоактивной добавки на основе квантовых точек *CdSe/CdS/ZnS* в плёнках полиэтилена высокого давления (ПЭВД), используемых в качестве укрывного материала для теплиц. Указанные квантовые точки представляют собой новое поколение люминофоров, разработанных в последние годы и обладающих уникальными физико-оптическими свойствами.

Попытки использование люминофоров для коррекции солнечного спектра были предприняты ещё в конце 80-х годов прошлого столетия сотрудниками ряда институтов АН СССР. Были, в частности, разработаны плёночные материалы с использованием неорганических и органических фотолюминофоров на основе соединений европия (III) [8]. Эти люминофоры перевысвечивают ультрафиолетовую составляющую спектра солнечного света в области 300–350 нм в красной видимой части спектра. Однако эти материалы не нашли широкого распространения в сельском хозяйстве, что было обусловлено, в частности, их неоптимальными спектральными характеристиками, такими как узкие полосы поглощения и излучения, недостаточное значение стоксового сдвига, высокий уровень рассеяния света и низкая фотостабильность, а также сложностью введения добавок в полиэтиленовую матрицу.

Новые перспективы в разработке преобразующих свет материалов открыло создание нового поколения люминофоров на основе полупроводниковых коллоидных материалов *CdSe/CdS/ZnS* [9]. Важно отметить, что люминофоры подобного типа обладают целым рядом уникальных оптических и коллоидных свойств, делающих их особенно привлекательными для получения преобразующих свет материалов для сельского хозяйства. Так, в частности, для них характерны широкий спектр поглощения в синей и ближней ультрафиолетовой областях (рис. 4) и высвечивание в виде относительно узкого пика в практически любом диапазоне видимого спектра.

Общие закономерности спектрального преобразования, осуществляемого с помощью люминофоров, были впервые сформулированы ещё С.И. Вавиловым. Эффективность преобразования определяется энергетическим выходом люминесценции, который не может превышать 1. При антистоксовом возбуждении, то есть при $\nu_{возб} < \bar{\nu}$, где $\bar{\nu}$ - среднее значение частоты в полосе излучения, энергетический выход фотолюминесценции должен убывать с возрастанием разности частот ($\bar{\nu} - \nu_{возб}$) [10]. Важно отметить, что квантовый выход люминесценции рассматриваемых материалов близок к 1, что представляется весьма полезным для практического применения.

Наряду с квантовым выходом, важным фактором, определяющим эффективность преобразования спектра, является энергетический выход люминесценции. Так, поток, излучаемый люминофором $F_л$ в результате возбуждения его в некой широкой области спектра, можно определить с учётом выражения

$$\eta_{эн} = \varphi_л(\lambda)/\varphi_в(\lambda), \qquad (1)$$

где $\varphi_л(\lambda)$ и $\varphi_в(\lambda)$ – соответствующие спектральные потоки излучения, $\eta_{эн}$ – энергетический выход люминесценции:

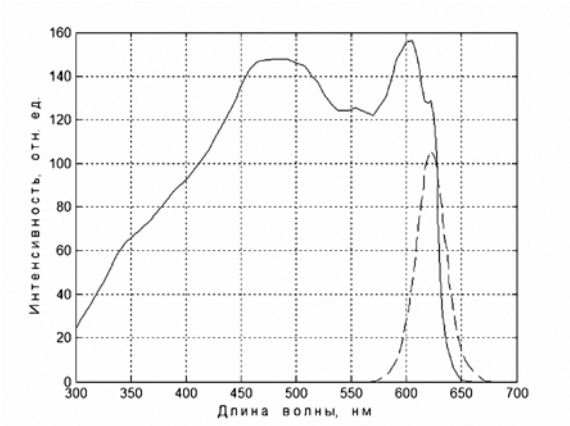


Рис. 5. Спектры возбуждения (сплошная линия) и излучения (пунктирная линия) квантовых точек *CdSe/CdS/ZnS*

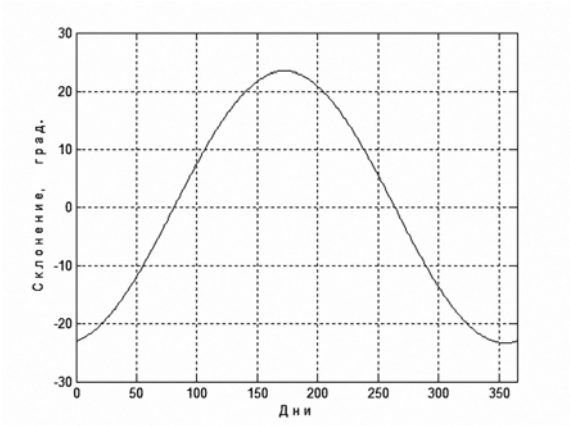


Рис. 6. Склонение солнца на широте Москвы (55,7° с.ш.)

$$F_л = \int \phi_л(\lambda)d\lambda = \int \phi_в(\lambda)\eta_{эн}(\lambda)d\lambda \qquad (2)$$

Конечной целью преобразования солнечного спектра является увеличение потока излучения в области ФАР [11]:

$$E_{ФАР} = \int_{400}^{700} c(\lambda)I(\lambda)d\lambda \qquad (3)$$

где $c(\lambda)$ – спектр действия для фотосинтеза, $I(\lambda)$ – спектральное распределения мощности солнечного излучения. Сопоставление квантового выхода процесса фотосинтеза (рис. 3) и спектров возбуждения и излучения квантовых точек (рис. 5) однозначно указывает на эффективность использования квантовых точек для указанных целей.

В условиях естественного освещения поток ФАР зависит от целого ряда факторов. Во-первых, как показывают кривые, приведённые на рис. 2, спектры прямого и рассеянного естественного излучения заметно различаются. Под «прямым» понимается излучение, которое падает на поверхность земли в виде коллимированного потока. Рассеянным называется то излучение, которое попадает на землю после отражения и рассеивания его молекулами газов воздуха, каплями воды, кристаллами льда и прочими неоднородностями, находящимися в атмосфере. Суммарный поток включает оба вида излучения, причём соотношение этих составляющих зависит как от состояния атмосферы и времени года, так и от высоты солнца над горизонтом. Так, например, до восхода солнца на растения попадает только рассеянное излучение, но затем, по мере увеличения высоты стояния солнца над горизонтом, доля прямого излучения возрастает, а доля рассеянного – уменьшается.

Во-вторых, сама эффективность преобразования излучения слоем люминофора зависит от отмеченных выше условий облучения, а именно, от угла падения луча, который, в свою очередь, зависит от склонения солнца, продолжительности светового дня, доли рассеянной составляющей потока и некоторых других параметров. Подробное изучение общих закономерностей процессов флуоресценции в оптических слоях, проведённое нами ранее [13–15], позволило установить целый ряд факторов, которые необходимо учитывать при прогнозировании процесса преобразования света. Так как «астрономические» аспекты солнечного излучения хорошо известны, мы привлечём их для объяснения наблюдаемых закономерностей.

Так, удельный (на единицу площади) поток солнечного излучения, падающий на горизонтальную плоскость вне атмосферы Земли, может быть рассчитан по формуле, аналогичной приведённой в [11]:

$$H_0 = \left(\frac{t_s G_0}{\pi}\right)\left(\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360}\sin\phi \cdot \sin\delta\right), \qquad (4)$$

где G_0 – солнечная постоянная (G_0 = 1,34 кВт/м^2); φ – географическая широта местности, град.; t_s – продолжительность светового дня, с; δ – склонение солнца, град.; W_s – часовой угол солнца на закате, град.

Далее, склонение солнца δ может быть определено, как

$$\delta = \delta_0 \sin\left[360 \cdot (284 + n)/365\right], \qquad (5)$$

где δ_0 = 23,5°, n – номер дня года. Продолжительность светового дня в часах может быть вычислена по формуле

$$t_s = \frac{2}{15}\arccos\left(-\tan\phi\tan\delta\right). \qquad (6)$$

а время захода солнца (по среднему универсальному солнечному времени) – по формуле

$$t_z = 6 + \frac{12}{\pi}\arcsin\left(\tan\phi\tan\delta\right). \qquad (7)$$

Результаты расчётов по формулам (5) – (7) представляются принципиально важными для оценки эффективности использования эффекта преобразования света и приведены на рис. 6–8.

Поскольку орбита Земли является не круговой, а эллиптической, то необходимо произвести учёт эллиптичности по формуле [11]:

$$H = \left[1 + e \cdot \cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right]H_0, \qquad (8)$$

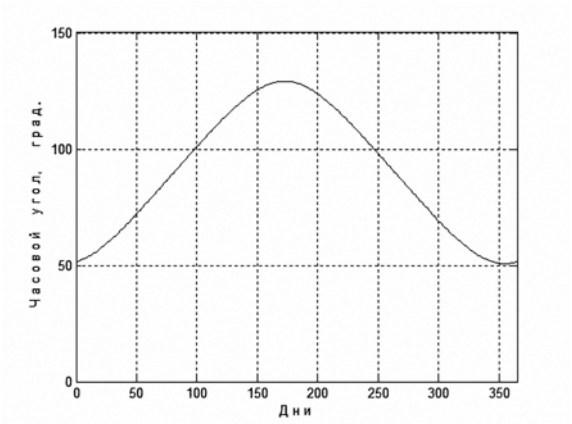


Рис. 7. Годовая зависимость часового угла при заходе солнца на широте Москвы (55,7° с.ш.). Дни отсчитываются, начиная с 1 января

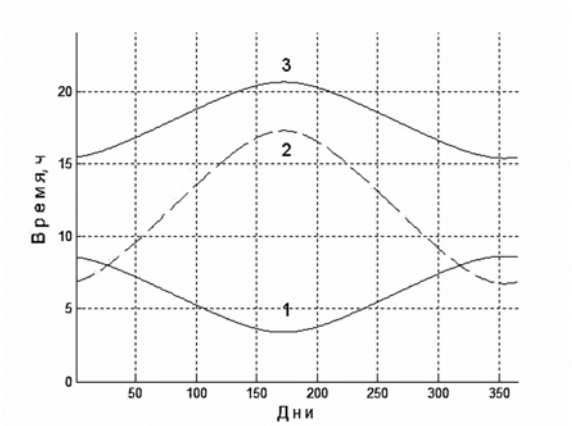


Рис. 8. Результаты определения продолжительности светового дня, а также времени восхода и захода солнца на широте Москвы (55,7° с.ш.) по среднему универсальному солнечному времени. 1 – продолжительность светового дня; 2 – время восхода солнца; 3 – время захода солнца

где $e = 0{,}333$ – постоянная, учитывающая эллиптичность орбиты земли. Считается, что до поверхности земли солнечное излучение доходит в виде суммы прямого и рассеянного потоков [11].

Так как прямой и рассеянный потоки имеют различный спектральный состав (рис. 2), то это обстоятельство оказывает определённое влияние на эффективность процесса преобразования света. Произведём оценку «индекса ясности» k_T, который представляет собой отношение суммарного суточного потока солнечного излучения, попавшего на единицу площади горизонтальной площадки на поверхности земли, к соответствующему потоку солнечного излучения вне атмосферы

$$k_T(n) = \frac{H_1(n)}{H(n)}, \qquad (9)$$

где $H_1(n)$ – величина потока солнечного излучения, достигшего поверхности земли.

Далее, доля диффузного излучения H_D может быть определена по формуле

$$\frac{H_D}{H_1} = 1.39 - 4.03k_T + 5.53k_T^{\,2} - 3.11k_T^{\,3}. \qquad (10)$$

Суть процесса преобразования солнечного спектра заключается в эмиссии (переизлучении) на определённой длине волны света, поглощённого в широкой спектральной области. Примеры спектров поглощения разработанных нами материалов на основе ПЭВД, содержащих квантовые точки различных размеров, приведены на рис. 4. Одной из уникальных особенностей оптики квантовых точек является широкий, практически сплошной спектр поглощения в синей и ближней ультрафиолетовой областях спектра, лежащих в области длин волн, меньших пика экситонного поглощения, что нехарактерно для традиционных керамических и органических люминофоров, в том числе и редкоземельных. Другой особенностью флуоресценции разработанных нами преобразующих свет материалов является зависимость эффективности преобразования спектра от угла прохождения коллимированного солнечного излучения через люминесцирующий слой. Это обусловлено как изменением физических свойств света (в частности, его спектрального состава), так и эффективности самого процесса преобразования света слоем с изменением угла падения h. Вопросы эффективности преобразования света, связанные с изменение угла прохождения луча через слой, были рассмотрены нами ранее [13].

Далее, угол падения коллимированного потока солнечного излучения определяется по известной формуле [16]

$$\sin(h) = \sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(t) \qquad (11)$$

Угол падения коллимированного потока солнечного излучения в полдень на широте Москвы приведён на рис. 6. Определение соотношения коллимированного и рассеянного потоков было проведено нами ранее на основе трёхпотокового приближения [16]. Это позволило оценить прибавку к ФАР в зависимости от условий естественного освещения. Вычисление полного потока (или дозы) ФАР проводили по соотношению

$$\sum Q_{ФАР} = A\sum S + B\sum D + F_л, \qquad (12)$$

где $A = 0.6$, В – коэффициент перехода от дневных сумм прямого солнечного излучения к дневным суммам прямой ФАР (табл. 1); $\sum S$ –полный поток рассеянного излучения, $\sum D$ – полный поток прямого излучения, $F_л$ – люминесцентный поток.

Результаты вычислений приведены на рис. 9, 10. Далее, по экспериментальным спектрам освещённости, полученным для фотоактивной добавки на основе квантовых точек *CdSe/CdS/ZnS* (рис. 11), по формуле (12) был определён вклад в ФАР люминесцентного потока $F_л$ (рис. 10, кривая 3). Видно, что в диапазоне ФАР при 600–650 нм интенсивность излучения возрастает на 15–65 % в зависимости от времени проведения испытаний.

Экспериментально эффективность преобразования света (χ) можно оценить, в первом приближении, по изменениям интегральной интенсивности в областях 400–550 и 550–700 нм:

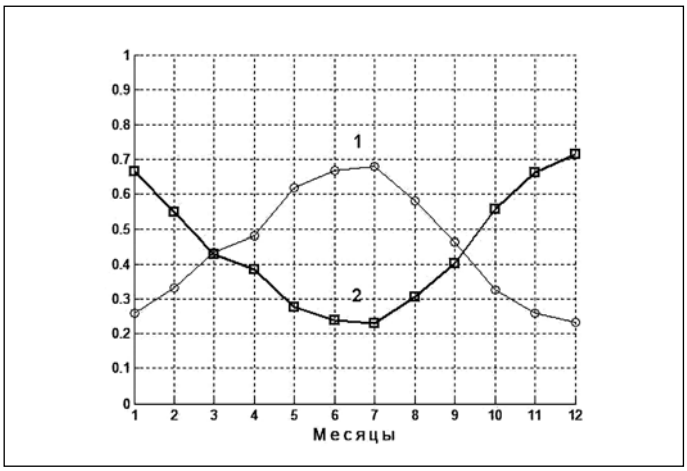


Рис. 9. Временной ход коэффициента ясности (1) и доли рассеянного потока (2), отн. ед.

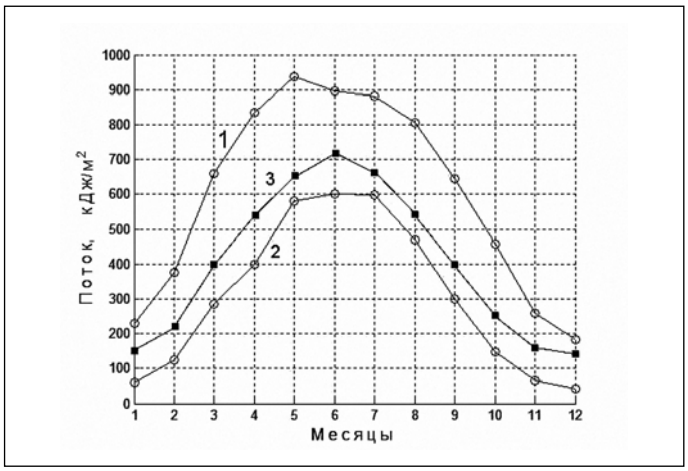


Рис. 10. Суммарный поток солнечного излучения (1), поток рассеянного излучения (2) и суммарный поток преобразованного излучения в области ФАР (3)

$$\chi = \int_{400}^{550} I(\lambda)d\lambda \Big/ \int_{550}^{700} I(\lambda)d\lambda \qquad (13)$$

Обработка экспериментальных данных, приведённых на рис. 10, показала, что 60 % излучения, поглощённого в синей области, оказывается высвеченным в красной области. Потери излучения, происходящие по различным причинам, составляют не более чем 40 %. Для коррекции спектра люминесценции нами были также использованы смеси дисперсии квантовых точек с различными максимумами эмиссии. Эффективные спектры таких смесей были исследованы нами ранее в [14, 15].

Важно отметить, что на широтах средней полосы России урожайность практически пропорциональна метеорологически возможному потоку ФАР [17–20]. Поэтому при увеличении потока ФАР на 50 % следует ожидать соответствующего увеличения интенсивности фотосинтеза. Это обстоятельство иллюстрирует спектр освещённости под плёнкой ПЭВД (толщина 50 мкм), содержащей различные концентрации фотоактивного компонента, приведённый на рис. 11. Данный рисунок непосредственно показывает существенное увеличение интенсивности излучения в области ФАР.

В [21] нами были проведены испытания на широте Московской области разработанного материала на основе плёнки ПЭВД, содержащей квантовые точки. Были использованы следующие культуры в закрытом грунте: капуста белокачанная (*Brassica oleracia var. capitata L.*), капуста цветная (*Brassica oleracia var. botrytis L.*), салат (*Latuca sativa L.*), томаты (*Salanum lycopersicum erensuletum*), огурцы (*Cucumis sativus*). Результаты полностью подтвердили предположения.

Так, биомасса капусты *Brassica oleracia var. capitata L.*, выращенной под преобразующей свет плёнкой, была на 45–75 % выше, чем в контрольных условиях (нелюминесцирующая плёнка). Прибавка биомассы капусты *Brassica oleracia var. botrytis L.* и салата *Latuca sativa L.* составила до 30–40 % и 25–30 % соответственно, а вес плодов томата *Salanum lycopersicum erensuletum* и огурца *Cucumis sativus* увеличился на до 35 и 50 % соответственно.

Некоторые результаты по выращиванию огурцов сортов «Престиж» и «Миракл» в закрытом грунте под флуоресцирующими плёнками приведены в табл. 2. Наблюдаемая прибавка урожая в данных опытах существенно выше статистической погрешности опыта. Результаты изучения продуктивности культуры томата сорта «Ла-ла-фа» (гибрид F_1) приведены в табл. 3. Видно, что продуктивность экстремальным образом зависит от концентрации квантовых точек в укрывном материале, и что максимум продуктивности приходится на содержание квантовых точек в материале 3–5 мг/г.

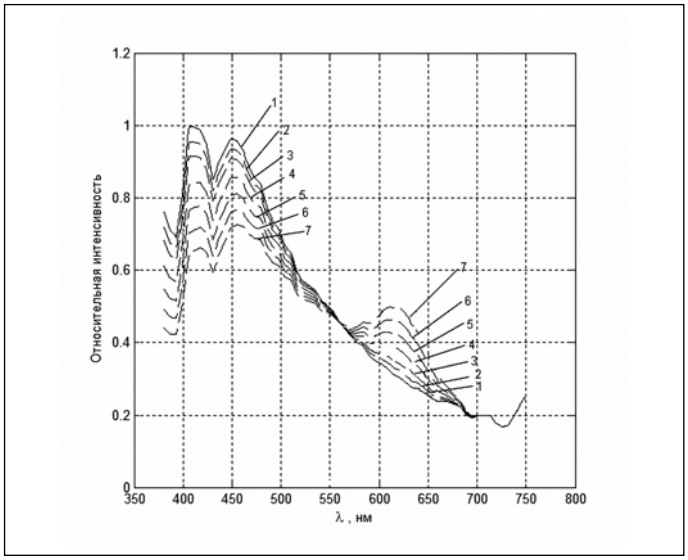


Рис. 11. Спектр естественной освещённости под плёнкой ПЭВД (толщина 50 мкм), содержащей различные концентрации фотоактивного компонента: 1 – немодифицированная плёнка, 2 – содержит 0.1 мг/г квантовых точек, 3–0.2 мг/г, 3–0.4 мг/г, 5–0.6 мг/г, 6–0.8 мг/г, 7–1.0 мг/г

Выводы

1. Изучение оптических свойств полимерных плёнок, содержащих в качестве фотоактивного компонента квантовые точки, позволило установить основные особенности процесса преобразования солнечного спектра. Было установлено, что эффективность процесса преобразования солнечного спектра зависит как от люминесцентных и оптических свойств плёнок, так и от ряда метеороло-

Таблица 1

Эффективные коэффициенты перехода от дневных сумм прямого солнечного излучения к дневным суммам прямой ФАР для различных широт [18]

Широта местности, град.	Месяц							
	5	6	7	8	9	10	11	12
66	0,40	0,40	0,40	0,39	0,37			
50	0,41	0,42	0,42	0,41	0,405	0,385		
23	0,425	0,425	0,425	0,425	0,420	0,415	0,410	0,41

Таблица 2

Урожайность огурцов сортов «Престиж» и «Миракл» в возрасте 90 дней, выращенных в закрытом грунте под разработанными флуоресцирующими плёнками

Сорт	Вариант опыта	Урожайность, кг/м^2	Число плодов, шт./м^2	Средний вес плода, г
Престиж	Контроль	6,2	65	95
	Преобразующая свет плёнка, 2 мг/г *	21,0	140	150
Миракл	Контроль	13,2	110	120
	Преобразующая свет плёнка, 2 мг/г *	20,8	160	130

* Концентрация фотоактивного компонента

Таблица 3

Результаты изучения продуктивности культуры томата сорта «Ла-ла-фа» (гибрид F_1) при выращивании в закрытом грунте под преобразующей свет плёнкой, содержащей квантовые точки в различной концентрации

Покрытие	Концентрация фотоактивного компонента в плёнке, мг/г				
	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0
Продуктивность, кг/м^2	9,1	11,7	11,5	9,3	7,7
Продуктивность,% относительно контрольных условий	136	150	148	136	124

гических и астрономических факторов. К ним, в частности, относятся географическая широта местности, величина склонения солнца, продолжительность светового дня, доля коллимированного и рассеянного потоков в общем потоке солнечного излучения.

2. Установлено, что добавка люминесцентного потока к потоку естественной ФАР на широте средней полосы России возрастает в осеннее-зимний период и сокращается в летние месяцы. Аналогичным образом, эффективность преобразования света возрастает с увеличением географической широты местности. Это позволяет заключить, что применение преобразующих свет материалов для интенсификации процесса фотосинтеза весьма эффективно для средней полосы России, испытывающей очевидный недостаток ФАР практически в течение всего вегетационного периода. В связи с этим, применение преобразующих свет материалов целесообразно как в основной (летний) период вегетации, так и в осенне-зимний период.

3. Эффективность преобразования света при этом может достигать 50 %. Потери же светового потока, поглощённого плёнкой в фотосинтетически малоценных синей и ближней ультрафиолетой областях солнечного спектра, происходящие по различным причинам, не превышают 40 %.

4. Предварительные вегетационные опыты, проведённые с рядом тепличных культур, показали существенную прибавку как общей биомассы, так и массы плодов, обусловленную процессами общей интенсификации фотосинтеза в результате увеличения потока ФАР.

5. Оценена оптимальная концентрация квантовых точек в укрывном материале, которая составила 3–5 мг/г.

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. *Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М.* Светокультура растений: биофизические и биохимические основы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.– 213 с.

2. *Шпольский Э.В.* Спектр поглощения хлорофилла в растворе и в естественном состоянии // Изв. АН СССР. Сер. биол.– 1947.– № 3. – С. 391–406.

3. *Свентицкий И.И.* Оценка фотосинтетической эффективности оптического излучения // Светотехника.– 1965.– № 4. – С. 19–24.

4. *Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я.* Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука, 1991.

5. *McCree, K.J.* The Action Spectrum, Absorptance and Quantum Yield of Photosynthesis in Crop Plants // Agricultural and Forest Meteorology.– 1972. – Vol. 9. – P. 191–216.

6. *Молчанов А.Г., Самойленко В.В.* Энергосберегающее оптическое облучение промышленных теплиц. – Ставрополь: АРГУС, 2013.– 120 с.

7. *Шульгин И.А.* Растение и солнце. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973.

8. *Иваницкий А.Е., Коваль Е.О., Райда В.С.* Люминесцентные свойства полиэтиленовых плёнок с добавками фотолюминофоров // Люминесценция и сопутствующие явления. Труды VII Всероссийской школы-семинара, 13–18 ноября 2001. – Иркутск, 2002.

9. *Васильев Р.Б., Дирин Д.Н.* Квантовые точки: синтез, свойства, применение. – М.: ФНМ, 2007.

10. *Адирович Э.М.* Люминесценция и законы спектрального преобразования // Успехи физических наук.– 1950. – Т. 4, № 3. – С. 341–368.

11. *Кондратьев К.Я.* Актинометрия. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во,. 1965.– 685 с.

12. *Павлов С.А., Максимова Е.Ю., Корякин С.Л., Шерстнева Н.Е., Антипов Е.М.* Оценка светимости субпикселей люминесцентного видеомонитора на основе квантовых точек CdSe/CdS/ZnS // Российские нанотехнологиии.– 2016. – Т. 11, № 3–4. – С. 64–68.

13. *Павлов С.А., Крикушенко В.В., Антипов Е.М., Воронец Н.Б. Максимова Е.Ю., Шерснева Н.В., 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. 133–137.

14. *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 // Светотехника.– 2017.– № 4. – С. 31–34.

15. *Antipov, E.M., Sergey L. Koryakin, S.L., Elena Yu. Maksimova, E.Y., Sergey A. Pavlov, S.A., Natalya E. Sherestnyova, N.E.* Features of Forming *CdSe/CdS/ZnS* Quantum Points Dispersion Radiation Chromaticity in Multicomponent Systems // Light & Engineering.– 2017. – Vol. 25, No. 3. – P. 244–249.

16. *Сивков С.И.* Методы расчёта характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во,. 1968.– 232 с.

17. *Тооминг Х.Г.* Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.– 200 с.

18. *Тооминг Х., Нийлиск Х.* Коэффициенты перехода от интегральной радиации к ФАР в естественных условиях // В: Фотоактинометрические исследования растительного покрова. Таллин: «Валгус». 1967. – С. 140–149.

19. *Шаин С.С. и др.* Свет и развитие растений. – М.: Сельхозиздат, 1963.– 622 с.

20. *Леман В.М.* Курс светокультуры растений. – М.: Высшая школа, 1976.– 271 с.

21. *Павлов С.А., Воронец Н.Б.* Квантовые точки и урожай // ЕСУ. Химические науки.– 2014.– № 10. – С. 89–91.

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

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

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*

Максимова Елена Юрьевна, *химик. Окончила в 1982 г. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Зав. лабораторией кафедры химической технологии полимерных композиционных лакокрасочных материалов и покрытий этого вуза. Область научных интересов: полимерные композиционные лакокрасочные материалы и покрытия, реология высокомолекулярных соединений*

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.*

Особенности искусственного освещения исторической и современной ландшафтных композиций

А.Н. БЕЛКИН [1], В.В. ДОРМИДОНТОВА [2]

[1] НИУ «МГСУ», Москва

[2] Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), Московская обл., г. Мытищи

E-mail: an.belkin@mail.ru, v.dormidontova@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена проблеме искусственного освещения ландшафтных композиций. На примере дворцово-паркового ансамбля «Во-ле-Виконт» XVII в. и Национального мемориального комплекса 11 сентября 2001 г. рассмотрены особенности искусственного освещения исторических и современных ландшафтных композиций. Описаны приёмы выявления существующих планировочных и пространственных элементов в исторических садах. Показаны достоинства и недостатки использования современных технических возможностей искусственного освещения.

Ключевые слова: искусственное освещение, ландшафт, композиция, пространство, приёмы.

Проблема освещения ландшафтных композиций, очевидно, актуальна с момента появления сада при доме. Сначала она диктовалась необходимостью удобного и безопасного передвижения в садовом пространстве, а затем и желанием продлить возможность его эстетического восприятия. Исторические садово-парковые пространства служили продолжением дворца. Вечерами сады жили полной жизнью: в открытых садовых комнатах пировали, танцевали, слушали музыку, наслаждались театральным искусством. Поэтому в садах всегда предусматривалось вечернее освещение свечами и факелами. Так, например, «морской театр» виллы Гарцони освещали факелы, которые держали в высоко поднятых руках скульптуры фавнов. Часто в садах устраивались театрализованные представления на воде с фейерверками [1]. Свечи, выставленные вдоль дорожек, выявляли планировочный рисунок, факелы освещали подпорные стены, кружевные и водные партеры, скульптуру, фонтаны, театральные сцены. До сих пор вечернее зажжение свечей в «Во-ле-Виконт» привлекает туристов всего мира возможностью наблюдать за тем, как знаменитый грандиозный ансамбль постепенно поглощается тьмой, а затем, также постепенно, проявляется, возрождаемый зажигающимися огоньками, вступающими в диалог со звёздным небом, представляя явственную картину гармонии искусства и природы.

Сегодня искусственное освещение садово-парковых композиций, обладающее значительным арсеналом технических средств, – особо сложный жанр светодизайна. Но, к сожалению, технические возможности не всегда обеспечивают эстетические качества. С наилучшими намерениями обмотанные светодиодными лампочками деревья вдруг превращаются в обрубки, культи ветвей, светящихся на фоне ночного неба. Образованное аллеями знакомое и приятное пространство традиционного бульвара исчезает, его разрушают световые тоннели, ярко светящиеся арки, фигуры животных, застывшие световые «фонтаны» и многое другое. Сквер перед фасадом хорошо освещённого памятника архитектуры нередко заполнен высокими и богато орнаментированными арками, ярко светящимися и цветными, однако грубо закрывающими лучший вид на замечательную композицию. Легкомысленная праздничная иллюминация, из временной превращающаяся в долговременную, своим изобильным дурновкусием превращает городскую среду в навязчивый балаган, разрушает продуманные, тщательно выстроенные, художественно выразительные исторические и современные сады, здания и ансамбли.

Это детство светодизайна, с часто неловкими попытками освоения новой игрушки ребёнком, для которого всё ново, всякое действие – открытие, не обременённое знанием. Теоретическая база светодизайна начала складываться относительно недавно, и среди трудов немногих исследователей следует отметить как важнейшие работы Н.И. Щепеткова [2–4]. Интерес к теме освещения городской ландшафтной среды вызван стремлением к композиционному освоению новых технических возможностей, использованием визуальных иллюзий в архитектурной композиции [5–7], а также желанием напомнить легко забываемые уроки прошлого. Целью данной работы является осмысление особенностей и выявление композиционных приёмов удачного искусственного освещения двух ландшафтных композиций – исторической и современной.

Искусственное освещение замечательного ансамбля – дворца и парка «Во-ле-Виконт» (рис. 1), принадлежавшего

Рис. 1. Вид ансамбля «Во-ле-Виконт» (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

Рис. 2. Зажжение свечей в «Во-ле-Виконт» (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

Никола Фуке, суперинтенданту финансов Людовика XIV, имеет давнюю, равную его возрасту, традицию и представляет пример мастерского сочетания утилитарности и декоративности. Поместье «Во», построенное за пять лет, дошло до нас «нетронутым», несмотря на войны и революции, перемены во вкусах, происходившие за три с половиной столетия европейской истории [8]. И в наши дни каждую субботу в парке зажигаются две тысячи свечей, воссоздавая атмосферу пышного празднества 17 августа 1661 г. – дня открытия поместья и посещения его королём Людовиком XIV (рис. 2).

Для создания своего поместья Н. Фуке привлёк архитектора Л. Лево, художников Н. Пуссена и Ш. Лебрена, а для устройства садов был приглашён А. Ленотр [9]. Хорошо образованный Фуке собрал вокруг себя группу выдающихся деятелей разных видов искусства, которые, создавая ансамбль «Во-ле-Виконт», во многом создали французский классицизм. Здесь впервые был применён комплекс композиционных приёмов, составивших новый тип пространственной организации, а также систему эстетических взглядов нового стиля. Управляющему финансами Франции ничто не казалось слишком огромным, слишком красивым и слишком дорогим. Поместье, расположенное на 500 га, получилось великолепным. Роскошные здания, парк, каскады составили осевую композицию, вытянутую с севера на юг на 1,5 км [10, 11].

Но слишком очевидным был источник средств, потраченных на создание шедевра, что вызвало гнев молодого завистливого короля. Менее чем через месяц после празднества, 5 сентября, 46-летний Фуке был арестован, обвинён в казнокрадстве и брошен в тюрьму, где через 19 лет умер. Все мастера, работавшие в «Во-ле-Виконт», вместе с учениками были переведены в Версаль. Парк «Во-ле-Виконт» представляет собой чередование кружевных и водных партеров, каналов и гротов, украшенных вазами и скульптурами. Но не набор элементов и степень их декоративности создали новый стиль и отличительную «манеру» Андрэ Ленотра. Этот набор использован в террасных садах итальянского Возрождения и средневековых французских садах: крытые аллеи – берсо, перголы, каналы, кружевные партеры – «бродери» (в переводе – вышивка, кружево) (рис. 3) [1].

Рис. 3. Кружевной партер «бродери» в «Во-ле-Виконт» (URL: http://www.lenotre.culture.gouv.fr/fr/de/index.htm)

Особенностью «Во-ле-Виконт» была грандиозная подчёркнуто горизонтальная композиция, подчинённая оси, вдоль которой строилась широкая 1,5-километровая перспектива. Высота всех вертикальных элементов – рядов стриженых растений, скульптуры, стен боскетов – и даже дворца незначительна в сравнении с шириной и глубиной обозреваемого, вовлечённого в композицию пространства.

Дворец, окружённый каналом, расположен в северной части усадьбы. Его южный фасад обращён к парку. Дворец служит центром композиции, от него вдоль главной композиционной оси расстилается открытое цельное пространство, украшенное последовательностью кружевных и водных партеров. Однако «парящая неразрывность» – зрительный обман. Поскольку парк был устроен на нескольких уровнях, гармония горизонтальных плоскостей прерывается каналами, каскадами и гротом, пересекающими главную перспективную и композиционную ось, создающими глубокие вертикальные членения пространства и обогащающими восприятие. По мере удаления от дворца ритмично укрупняются площади, детали, упрощается рисунок. Открытое пространство фланкируется стрижеными стенами боскетов, образующими зелёные залы. Главная перспектива замыкается поперечным каналом и пластически обработанным холмом, на вершине которого, в точке схода перспективы, установлена статуя Геракла. Таким образом, Ленотром были изменены не элементы, а характер их пространственных взаимосвязей, масштаб членений, пропорции и масштабность композиции в целом.

В XVII в. парк освещался свечами и факелами, в дни празднеств устраивались фейерверки. Пламя свечей, расставленных в метрической закономерности, подчёркивало контуры основных парковых дорожек и бассейнов партера. Вечернее освещение выявляло планировку, но смещало акценты, подчёркивало пластику фасадов замка, а цельную партерную парковую композицию превращало в пунктирный, колышущийся, мерцающий мираж [10, 11].

Благодаря «пунктирной» расстановке свечей через равные промежутки архитектурно-парковый ансамбль приобретал лёгкость, воздушность и ещё большую цельность. Будто тысячи светлячков, вылетев из окон замка, плескались в бассейнах, бегали по бортикам фонтанов, прятались и хихикали в лабиринтах арабесок бродери (рис. 2 и 4). Атмосфера сказочности усиливала выразительность ансамбля.

Садово-парковое искусство всегда было открыто всему новому и предоставляло свои пространства для экспе-

Рис. 4. Приём выявления пунктирными контурами (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

Рис. 5. Вечерний вид на дворец от фонтана «Сноп» (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

риментов. Так и «Во-ле-Виконт» в наши дни пробует на себе новые технические и технологические возможности художественного освещения. Теперь уже не только свечи, но и электричество решают задачи художественного выявления исторической композиции в ночное время, используя разные световые сценарии в разных случаях (рис. 5).

В обычные выходные дни неброское, сдержанное освещение дорожной сети с помощью зажжённых свечей пунктирно обозначает границы основных элементов, воспроизводя историческое освещение. Внутри этих абрисов низкие наземные светильники, расположенные по углам частей партера, «вырывают» из темноты угловые же фрагменты кружевных партеров, превращая огромную композицию в диалог из «отрывочных фраз» и давая воображению возможность самостоятельно дорисовывать остальное.

В праздничные дни освещение более декоративно, но оставляет меньше недосказанного. Для выявления арабесок бродери используется герметичная влагозащищённая светодиодная лента с монохромным свечением жёлтого цвета, повторяющая их рисунок. Она же очерчивает внешний контур кружевного партера. Такая же лента используется для акцентирования шаровидных крон стриженых растений (рис. 6). При других сценариях светодиодная лента применяется в сочетании с низкими наземными светильниками. Расположенные вдоль главной оси партера и направленные перпендикулярно в стороны от неё светильники полосами свечения белого цвета выявляют верхнюю плоскость арабесок, выстриженных из буксуса (рис. 7). Кроме того, контуры крупных элементов – террас, подпорных стен, лестниц, подчёркнутые светодиодными лентами, артикулируют парковое пространство, давая, вместе с освещённым фасадом дворца, третье измерение величественной композиции.

Фейерверки, хоть и историчны, но кажутся вульгарным немасштабным вторжением, варварски «взрывающим» цельность, соразмерность и тихую гармонию ансамбля, мгновенно превращающим его в хаос и заставляющим ожидать затухания огоньков и постепенного возвращения узнаваемых форм дворца и парка (рис. 8).

Освещение ансамбля «Во-ле-Виконт» показывает, что при сдержанном, соразмерном памятнику использованию современных технических средств может быть успешно решена основная задача – выявление особенностей исторической композиции. Более того, разные сценарии освещения могут обогащать восприятие художественного образа произведения.

Светодизайн Национального мемориала и музея 11 сентября в Нью-Йорке выходит далеко за рамки представлений о просто подсветке и выявлении архитектурно-ландшафтной композиции. Первоначальной реакцией была световая инсталляция на месте трагедии «Посвящение

Рис. 6. Приём выявления форм линейной прорисовкой светом (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

Рис. 7. Приём выявления «заливкой» (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

Рис. 8. Приём разрушения (URL: http//www.vaux-le-vicomte.com)

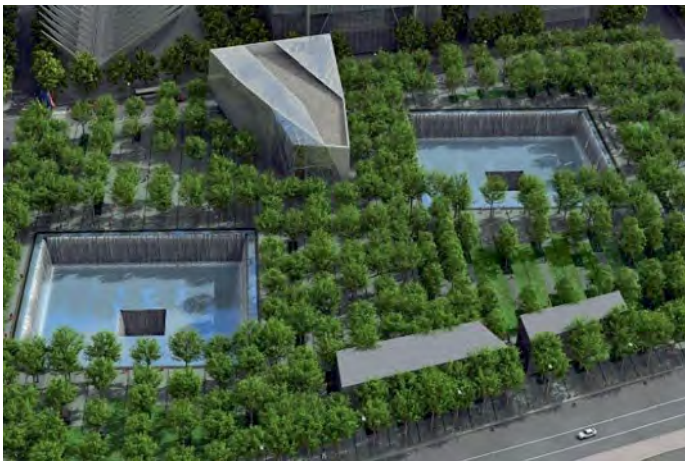


Рис. 9. Национальный мемориал и музей 11 сентября (URL: http//www.pvpla.com)

в свете» (*Tribute in Light*). 13 сентября 2001 г. президент инновационной компании *Arnell Group* представил идею инсталляции руководителям энергетической компании *Consolidated Edison*, обслуживающей Нью-Йорк. Проект разработали архитекторы Дж. Беннет, Г. Боневарди и Р. Нэш Гуд и художники Дж. Левердьер и П. Миода. Созданием инсталляции занималась компания, специализирующаяся на осветительных установках высокой мощности. Уже через полгода появились две «световые башни» – осветительные установки с 44 мощными прожекторами с ксеноновой лампой в каждой. Эти временные установки работали месяц, а с 2003 г. прожекторы включают ежегодно 11 сентября, и в ясную погоду свет от них виден за 100 км. С 2008 г. в генераторах питания инсталляции используется биодизель, работающий на использованном масле из местных ресторанов.

В 2003 г. был объявлен международный конкурс на проект мемориала Всемирного торгового центра, как дань памяти жертвам терактов 11 сентября 2001 г. 6 января 2004 г. был выбран победитель – проект «Отражение отсутствия». Строительство Мемориала началось в 2006 г. по проекту архитектора Майкла Арада и ландшафтного архитектора Питера Уокера и было завершено в 2011 г. [12–17].

Мемориальный комплекс имеет вид сквера на месте уничтоженных башен Всемирного торгового центра. Главные элементы композиции мемориала – два квадратных в плане глубоких бассейна на местах башен-близнецов. По внутренним стальным поверхностям их стен струится вода, тонким слоем покрывает дно и исчезает в бездонных колодцах. По периметру бассейны окружены пюпитрами из бронзовых плит с именами 2 983 жертв. Парковая композиция вокруг – зримое воплощение минуты молчания. Метрические ряды горизонтальных «плит» газонов сопровождаются метрономом строгих рядов стволов белых дубов и эвкалиптов (рис. 9). Позже под бассейнами был построен музей, открытый 21 мая 2014 г.

В вечернее и ночное время художественное освещение существенно повышает образную выразительность этой минималистичной композиции (рис. 10). Прежде всего, это яркое освещение бурно льющихся по стенам бассейнов потоков воды, превращающее их в потоки огненной лавы, как вечное напоминание об обжигающей душу трагедии (рис. 11). Среди деревьев, как бы случайно, разбросаны неярко светящие торшеры. Свечение жёлтого цвета создаёт впечатление поминальных свечей.

Несмотря на дороговизну инсталляции, ежегодно, в том числе и 11 сентября 2017 г., мощные объёмные световые столбы воссоздают на фоне тёмного неба виртуально башни (рис. 12).

В рассмотренном случае современной архитектурно-ландшафтной композиции, освещение не только выявляет планировочные и объёмно-пространственные формы,

Рис. 10. Национальный мемориал и музей 11 сентября при вечернем освещении (URL: http//www.pvpla.com)

Рис. 11. Приём усиления цветом образной выразительности света (URL: http//guruturizma.ru/memorial-911-v-nyu-jorke)

Рис. 12. Приём создания новых виртуальных форм светом (URL: http//www.shutterstock.com/ … /stock-photo-twin-towers-memorial)

но и создаёт новые формы, дополняющие композицию, и новые «ночные» доминанты, преобразующие дневное восприятие, соучаствует в формировании художественного образа.

Заключение

При проектировании освещения исторических и современных архитектурно-ландшафтных композиций решаются разные задачи: в первом случае освещение – средство выявления существующей формы, во втором – одно из средств нового формообразования.

В исторических композициях необходимо сохранять и выявлять ценимые композиционные особенности памятника, применяя средства освещения, не деформирующие как пространство в целом, так и формы отдельных планировочных и объёмных элементов. На примере искусственного освещения ансамбля XVII в. «Во-ле-Виконт» можно выделить такие приёмы выявления ландшафтной композиции светом, как: создание пунктирного контура основных объёмных и планировочных элементов; линейная прорисовка наиболее важных элементов; акцентирование поверхностей геометрических форм растений (точечных и плоскостных).

При проектировании современных архитектурно-ландшафтных композиций освещение изначально – средство формообразования. В рассмотренном случае искусственного освещения Национального мемориала и музея 11 сентября в Нью-Йорке свет изначально был единственным средством формообразования и инициировал (во многом определив) его пространственную композицию. Композиция днём выражает тихую скорбь и состояние покоя. Приёмы светодизайна непосредственно направлены на создание художественного образа. Сценарий вечернего освещения программирует острое эмоциональное переживание, «зажигая» жёлтые огоньки поминальных свечей-торшеров среди деревьев, превращая воду бассейнов в струящуюся огненную лаву и возводя виртуальные башни-фантомы. Из дневной земной реальности мы попадаем в иллюзорное метафоричное пространство, созданное светом и его цветом.

Средства освещения архитектурно-ландшафтных объектов должны быть аутентичны времени их создания, технологиям и материалам, ритму, темпу жизни, особенностям быта. Поэтому при освещении исторических объектов представляется уместным использование факелов, свечей и ограниченно, деликатно – современных средств. Современные объекты не накладывают ограничений на выбор средств освещения (всё, что технически доступно, уместно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дормидонтова В.В.* История садово-парковых стилей: учебное пособие. – М.: Архитектура-С, 2004. – 207 с.
2. *Щепетков Н.И.* Световой дизайн города. – М.: Архитектура-С, 2006. – 320 с.
3. *Щепетков Н.И.* Интерпространство светодизайна / Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов «Наука, образование и экспериментальное проектирование». – М.: МАРХИ. – 2014. – С. 350–352.
4. *Щепетков Н.И.* Эволюция светодизайна в Баку // Светотехника. – 2015. – № 5. – С. 47–51.
5. *Савельева Л.В.* Свет как инструмент создания виртуальных образов в архитектуре // Светотехника. – 2014. – № 6. – С.15–19.
6. *Соловьёв А.К.* Физика среды. – М.: Ассоц. строит. вузов, 2015. – 342 с.
7. *Цветкова И.* Ландшафтное освещение: диалоги о вечном // Ландшафтная архитектура. Дизайн. – 2007. – № 1. – С. 60–61.
8. *Сефриуи А.* Во Ле Виконт. – Париж: Scala, 2008. – 64 с.
9. *Белкин А.Н.* Я думал лишь о чести и славе Франции // Развитие и экономика. – 2013. – № 8. – С. 216–219.
10. URL: http://www.lenotre.culture.gouv.fr/fr/de/index.htm (дата обращения: 10.02.2017).
11. URL: http//www.vaux-le-vicomte.com (дата обращения: 10.02.2017).
12. *Дормидонтова В.В.* Этапы формирования сада XXI века //Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 1(37). URL: http://archvuz.ru/2012_1/19 (дата обращения: 10.02.2017).
13. *Дормидонтова В.В.* Минимализм в садово-парковом искусстве //Архитектон: известия вузов. – 2012. – № 2(38). URL: http://archvuz.ru/2012_2/17 (дата обращения: 10.02.2017).
14. URL: http//www.pvpla.com (дата обращения: 15.02.2017)
15. URL: http//www.excurser.ru/places/usa/newyork/…september_11_memorial_museum. html (дата обращения: 10.02.2017).
16. URL: http//guruturizma.ru/memorial-911-v-nyu-jorke (дата обращения: 15.02.2017).
17. URL: http//www.shutterstock.com/…/stock-photo-twin-towers-memorial (дата обращения: 15.02.2017).

Белкин Александр Николаевич, *кандидат архитектуры, профессор. Окончил факультет «Градостроительство и архитектура» Кишинёвского политехнического института по специальности «Архитектура». Профессор кафедры «Проектирование зданий и сооружений» НИУ «МГСУ». Член Союза архитекторов России*

Дормидонтова Виктория Владиславовна, *кандидат архитектуры, профессор. Окончила факультет «Градостроительство и архитектура» Кишинёвского политехнического института по специальности «Архитектура». Профессор кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство» Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ). Член Союза архитекторов России и Московского объединения ландшафтных архитекторов*

10-летие одной из первых в России светодиодных осветительных установок

Д.М. ХОДЫРЕВ
ООО МСК «БЛ ГРУПП», г. Москва
E-mail: hodyrev@bl-trade.ru

Аннотация

В статье изложена история создания одной из первых в России осветительных установок подземных пешеходных – подземного перехода у станции метро «Рижская» в г. Москве, являющейся одной из первых светодиодных осветительных установок подобного типа и, пожалуй, единственной, по сей день работающей в неизменном виде. Сохранению исторической памяти о создании первых светодиодных установок служат характерные для 2007 года нюансы освоения технологий производства и использования светодиодных светильников.

Ключевые слова: светодиодный светильник, освещение подземных пешеходных переходов, ДВУ25, БЛ ГРУПП, ПРОСОФТ, *X–Light*

Сколько всё-таки «живут» светодиоды? Или, в более практичной формулировке, какой реальный срок службы светодиодного светильника, если при определении срока службы, за отсутствием официально утверждённой методики, производители светильников опираются на данные о долговечности светодиодных модулей и устройств управления?

Потребителей волнует, сколько времени светодиодный светильник проработает без заметной деградации. Это вопрос окупаемости инвестиций, причём в большинстве случаев светодиодные осветительные установки внедряются методом замены ламповых. Экономическое обоснование этих проектов базируется на расчёте срока окупаемости вложений на закупку светодиодного оборудования. Благодаря более высокой эффективности светодиодных светильников по сравнению с ламповыми, снижаются расходы на электроэнергию и эксплуатацию. Но это обоснование перестаёт работать, если светодиодный светильник выходит из строя – сразу рушатся расчёты окупаемости, что увеличивает затраты потребителя и снижает доверие к приборам со светодиодами.

На первых этапах «светодиодной революции» в России, в 2005-х годах, производителям светодиодных светильников приходилось убеждать клиентов опробовать «молодую» технологию. Разница в стоимости светодиодных и традиционных светильников была заметна, и поэтому ключевым аргументом при работе с клиентом являлся высокий срок службы. Долговечность светодиода – сложное понятие, зависящее от многих переменных. На практике, производителями не обеспечивались заявленные параметры, что приводило к случаям преждевременного выхода из строя или деградации светодиодных светильников. Вторая проблема – расчётный характер определения сроков службы светодиодов. Технология развивалась, новые поколения светодиодов ежегодно сменяли друг друга, и каждое новое поколение имело более длительные сроки службы. Конечно, никто не успевал тестировать срок службы на практике за несколько лет до внедрения. А расчётные инженерные методы оценки сроков службы светодиодов в то время были ещё недостаточно совершенны.

Учитывая сказанное выше, критерием для принятия решения в выборе того или иного производителя должна стать практика. Практика применения, статистика выходов из строя, реальная наработка на отказ, оценка работы изделий на протяжении длительного времени – вот единственный по-настоящему надёжный критерий, способный подтвердить или опровергнуть теоретические выкладки и заявления маркетологов.

Случаев, когда светодиодные светильники рано выходят из строя или когда решение принимается заказчиком на основании тестирования образцов на протяжении от месяца до полугода, – сколько угодно. А вот примеров многолетней работы светодиодных осветительных установок, достоверно описанных и хорошо исследованных, до сих пор единицы. И это при том, что такие примеры – самый надёжный аргумент, позволяющий оценить качество решения и степень доверия к производителю.

Один из таких примеров в России – это первая светодиодная осветительная установка в подземном пешеходном переходе, и по сей день работающая в неизменном виде. Это 25 светильников ДВУ25 (рис. 1), установленных в Москве в пешеходном переходе через проспект Мира у станции метро «Рижская» (рис. 2). Проект был реализован ООО «БЛ ТРЕЙД» совместно со специалистами отдела светотехники ООО «ПРОСОФТ» (торговая марка *X–Light*) и специалистами ООО «Светосервис».

Как это было?

В 2007 году первые компании шли по непроторённой дорожке. Технологически светодиоды уже позволяли создавать энергоэффективные осветительные установки, но не было ни опыта их применения, ни устоявшихся технологий создания специализированных устройств упраавления, всё приходилось осваивать на ходу методом проб и ошибок.

Для этого были все предпосылки. Заводы корпорации «БЛ ГРУПП», выпускающие продукцию под торговой маркой *GALAD*, на тот момент производили более 1 млн традиционных светильников в год и имели по-

Рис. 1. Внешний вид светильника *GALAD* ДВУ25–24x1,2–002

чти 100-летний совокупный опыт работы в светотехнике. Светотехническая школа корпорации «БЛ ГРУПП» воспитывала сменяющие друг друга поколения светотехников, и многие из этих кадров, уходя, переносили полученный ими опыт, основывая новые светотехнические компании. А молодая компания *X–Light*, входившая в группу «ПРОСОФТ», включала в себя опытных электронщиков, вдохновлённых светодиодной тематикой и решивших посвятить дальнейшую карьеру этому перспективному направлению. У истоков *X–Light* стояли Геннадий и Владислав Тереховы, по интересному повороту судьбы работающие сегодня в корпорации «БЛ ГРУПП».

Почему для кооперации в данном проекте компания «БЛ ГРУПП» обратилась именно в «ПРОСОФТ»? Причина заключалась в том, что «БЛ ГРУПП» обладала огромным светотехническим опытом, имела впечатляющую производственную базу, но не имела собственных специалистов в области микроэлектроники. В то же время, «ПРОСОФТ» в 2006 году стал первым в России официальным дистрибьютором компании *CREE*.

Рис. 2. Подземный переход около станции метро «Рижская» после модернизации

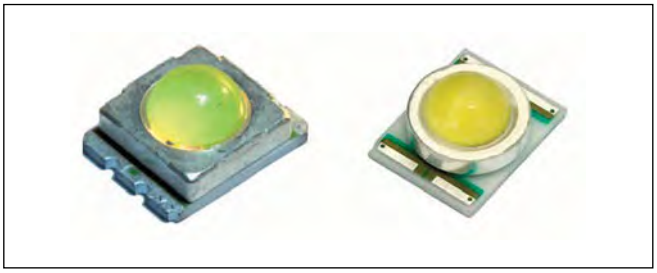


Рис. 3. Первые поколения светодиодов CREE XLamp для общего освещения серий *XL7090* (слева) и *XR7090* (справа)

Проект реализации системы освещения для городского заказчика, был способом выйти на принципиально иной уровень. Поводом стал день города Москвы. Профессиональная заинтересованность в опробовании новой технологии сошлась у «Мосвета» и у корпорации «БЛ ГРУПП». В качестве места для пилотного проекта был определён подземный переход в районе станции метро «Рижская». Этот переход имеет удачную структуру: там пересекаются пути, где можно наглядно посмотреть разные типы освещения. В частности, сравнить в одинаковых условиях вновь устанавливаемые светодиодные светильники со светильниками с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД).

Разработка, задачей которой было преобразование светильника *GALAD* ЖВУ25 с НЛВД в светодиодный с сохранением мощности и без падения эффективности, длилась около 2-х месяцев. Начальник департамента новой техники «БЛ ГРУПП» Леонид Горев передал компании *X–Light* чертежи и «живой» корпус лампового светильника. *«Моей первой реакцией на этот светильник было: какой же он огромный»* – рассказывает Геннадий Терехов, руководивший в то время группой разработчиков в отделе светотехники компании *X–Light*. Самой первой проблемой, с которой столкнулись разработчики, стало производство алюминиевой печатной платы больших размеров. До светодиодных систем общего освещения алюминиевые печатные платы почти нигде не применялись и стоили очень дорого. Другие материалы печатных плат не подходили, поскольку не справлялись с задачей эффективного отвода тепла и обеспечения работы светодиодов в номинальном режиме. Поэтому технологию производства алюминиевых печатных плат пришлось изобрести и освоить.

Огромная заслуга в отработке технологического процесса установки светодиодов на алюминиевую печатную плату принадлежит Валерию Кирееву – начальнику производственного участка компании «*FASTWEL*». Для создания прототипа первого светодиодного образца ДВУ25 было применено временное решение: использовать уже имеющиеся образцы малогабаритных светодиодных модулей с тремя светодиодами компании *CREE*, соединённые между собой обычными монтажными проводами. Тогда же впервые задумались и о дизайне. Стандартный цвет производимых в то время печатных плат был зелёным! Разработчики настояли на белом цвете защитной маски для обеспечения в светильнике лучшего внутреннего переотражения света и эстетической визуальной гармонии.

Следующим вопросом стал выбор светодиодов для проекта. Планировавшиеся изначально светодиоды компании *CREE* серии *XL7090* (рис. 3) со световой отдачей 60 лм/Вт уже в ходе разработки удалось заместить светодиодами следующего поколения – *XR-E* со световой отдачей более чем 80 лм/Вт. Благо, посадочные места у этих типов светодиодов были идентичными.

Неожиданной проблемой, которую удалось устранить, уточнив технологию, стал «попкорн-эффект». При поверхностном монтаже светодиодов на плату первичная оптика с них отлетала во все стороны с характерным звуком – отсюда и название эффекта. «Как так? Мы начали разбираться, –

Рис. 4. Монтаж светильника *GALAD* ДВУ25. Светильник устанавливает сотрудник компании *X–Light* Владислав Терехов (слева), в настоящее время – директор по продвижению ООО МСК «БЛ ГРУПП»

вспоминает Геннадий Терехов, – каждый светодиод стоил кучу денег, такие потери, почему? Оказалось, что светодиоды содержали некоторое, очень небольшое количество влаги, накопившейся между первичной оптикой и кристаллом. Однако этого количества было достаточно, чтобы при нагревании в печи, образуя пар, оказывать давление и буквально отстреливать оптику, как попкорн». Влага в светодиодах, вероятнее всего, была обусловлена небольшими в то время заказами – настолько небольшими, что они не превышали объёма стандартной вакуумированной упаковки производителя светодиодов. При транспортировке ленты небольшой накопленной из атмосферы влаги могло хватить для формирования «попкорн-эффекта». Так или иначе, но это заставило разработчиков ввести технологию предварительной сушки светодиодов в тигельной печи.

Разработка устройства управления также требовала серьёзной проработки. Активное участие в создании и отработке электронной части светильника принял Владимир Харитонов, работавший в *X–Light* инженером-разработчиком. В результате, в светильнике была предусмотрена возможность внешнего управления ШИМ сигналом, осуществляющего регулирование светового потока светильника в зависимости от состояния различных датчиков – движения, освещённости. Сегодня подобные системы управления освещением становятся всё более популярными, однако в то время эта возможность, к сожалению, так и не была востребован заказчиком ввиду «сложности» интегрирования электронных датчиков в стандартное щитовое оборудование.

При тестировании опытного образца, изготовленного на экспериментальном производстве, разработчики столкнулись с интереснейшим эффектом. За считанные дни цветность светодиодов «сползла» в синюю область спектра, при этом визуально значительно уменьшив общий световой поток светильника. «Какая-то дикая неконтролируемая деградация! – вспоминает Геннадий Терехов, – а причину нам удалось установить... по запаху». Оказалось, что смазочное вещество, использовавшееся на производстве, по химическому составу было несовместимо со светодиодами и приводило к деградации люминофора. Сегодня уже не секрет, что существуют требования по химическому составу среды, окружающей работающие светодиоды. Некоторые вещества способны вызывать временную деградацию параметров светодиодов, которая пропадает с исчезновением «раздражителя», а некоторые – постоянную. Таким образом, не имея этих знаний, можно «угробить» светодиодный светильник даже до того, как клиент открыл коробку. Не одна ли это из причин частых проблем с уровнем освещённости, создаваемой светодиодными светильниками, и сроками их службы на российских дорогах?

На проектирование, отработку технологии и решение неожиданных проблем вроде «попкорн-эффекта» или химической деградации ушло 2 месяца. Наконец, образцы были готовы, испытаны, протестированы и смонтированы на объекте. В шефмонтаже принимали участие заказчик и специалисты-разработчики «БЛ ГРУПП» и *X–Light* (рис. 4).

Дефицит доверия – сегодня основная проблема отрасли. Она порождена конкуренцией, алчностью и непрофессионализмом игроков. Обманывая клиентов, дилетанты дискредитируют всю светотехническую отрасль, заставляя светодиодное сообщество вырабатывать защитные механизмы – АПСС, Хартия «Честная позиция» и т.п. Всё это было бы ненужно, если бы все игроки рынка придерживались принципов реального ответственного и профессионального производства.

В корпорации «БЛ ГРУПП» сотни светодиодных проектов, работающих годами. Осенью 2017 года первому из них – описанной выше светодиодной осветительной установке у станции метро «Рижская» – исполнилось уже 10 лет. Согласно измерениям, проведённым в октябре 2017 г., освещённость под ДВУ25 составляет 125 лк, что удовлетворяет нормативным требованиям и сегодня, после 10 лет непрерывной эксплуатации.

В заключение заметим, что материалы и статьи, описывающие реальную практику эксплуатации светодиодных осветительных установок, до сих пор редкость. Между тем, практика – самый надёжный способ оценки качества светодиодных светильников в переходный период, когда критерии качества и способы контроля ещё не до конца отработаны.

Проект со светильниками *GALAD* ДВУ25, работающими без перерыва и замечаний 10 лет, – один из первых и наиболее показательных. Мы рассчитываем, что подобных описанных проектов будет становиться всё больше, и заказчикам будет намного проще ориентироваться при выборе осветительного оборудования.

Ходырев Дмитрий Михайлович, *инженер. Окончил в 2005 г. МЭИ (ТУ) по специальности «Светотехника и источники света». Начальник отдела технического продвижения ООО Международная светотехническая корпорация «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» (ООО МСК «БЛ ГРУПП»*

Исследование электрических и тепловых режимов работы светодиодов в светильнике[1]

С.С. КАПИТОНОВ, А.В. КАПИТОНОВА

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

Аннотация

Исследованы электрические и тепловые процессы, протекающие в светильнике со светодиодами (СД). Измерены напряжение на всех СД в светильнике, их ток и мощность в номинальном режиме работы. По результатам измерений с помощью разработанной тепловой модели СД в программной среде «*Multisim*» установлен значительный разброс СД в светильнике по температуре кристалла, что повышает вероятность преждевременного выхода этих СД из строя.

Ключевые слова: светодиод (СД), светильник, напряжение, ток, мощность, вольт-амперная характеристика, кристалл, температура.

Обеспечение высокой надёжности и заявленного производителем срока службы СД модулей (СДМ) и светильников с ними – одна из важных задач современной светотехники. На данный момент реальный срок службы этих изделий не превышает 50 тыс. ч [1, 2]. С одной стороны, это связано с надёжностью управляющего устройства (УУ), а с другой – с обеспечением надёжности самих СД даже при идеальном УУ.

В связи с нестабильностью процесса производства электрические и тепловые параметры СД могут варьироваться в пределах 10 % [1]. Чтобы установить силу влияния этой вариации на режимы работы и срок службы СДМ, нами проведено исследование отечественного светильника номинальной мощности 50 Вт с заявленным сроком службы 70 тыс. ч, содержащего СДМ с 40 синими СД компании *SemiLEDs*, номинальные прямой ток и мощность которых равнялись 350 мА и 1 Вт соответственно [3]. Диапазон рабочих температур окружающей среды лежал в пределах от –20 до +50 ºС. При этом все СД располагались на одной печатной плате из стеклотекстолита и соединялись параллельно-последовательно в виде 4 ветвей по 10 СД в каждой [3].

Исследование светильника проводилось в номинальном режиме его работы при токе 1,4 А и показало, что:

- СД в двух ветвях работают в режимах, отличных от номинального (рис. 1);
- максимальный разброс значений прямого напряжения – в ветви № 2 и составляет 0,25 В (рис. 2);
- максимальная мощность выделяется в кристалле СД № 6 и составляет 1,16 Вт: на 16 % больше номинальной (рис. 3).

Для оценки тепловых режимов работы была разработана электротепловая модель светильника [4, 5]. На рис. 4 представлены результаты моделирования с её помощью временной зависимости температуры *p–n*-перехода T_j СД №№ 6, 5 и 15, в которых выделяются максимальная (1,16 Вт), средняя (1,08 Вт) и минимальная (0,99 Вт) мощности соответственно (рис. 3). При этом начальная T_j = 20 ºС, а КПД СД равен 30 % [1].

Как видно из рис. 4, через 100 с горения T_j СД №№ 6, 5 и 15, соответственно, достигает 91, 86 и 80,6 ºС. Максимальный разброс составляет 10,4 ºС.

Известно [6], что срок службы синего СД при T_j = 80 ºС на 25 тыс. ч больше, чем при T_j = 90 ºС. Кроме того, из-за разброса значений T_j увеличивается вариация параметров СД, приводя к ещё большему расхождению значений T_j [3]. Соответственно, вероятность того, что данный светильник проработает заявленные (производителем) 70 тыс. ч крайне мала.

Для обеспечения одинаковых электрических и тепловых режимов работы СД в светильнике, максимально близких к номинальным, необходимо на стадии производства СД осуществлять их биновку по комплексу элек-

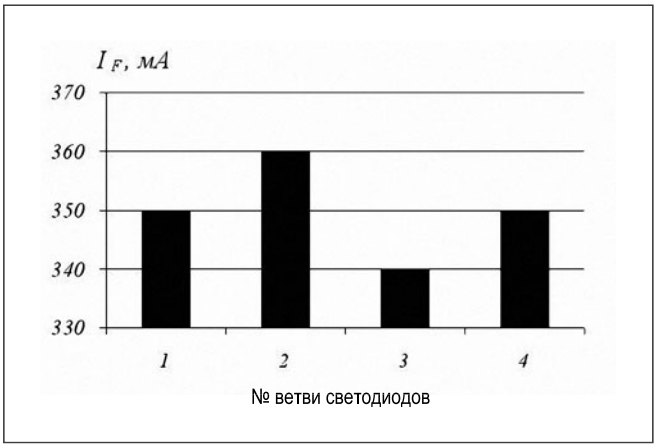


Рис. 1. Распределение прямого тока (I_F) по параллельным электрическим ветвям светильника

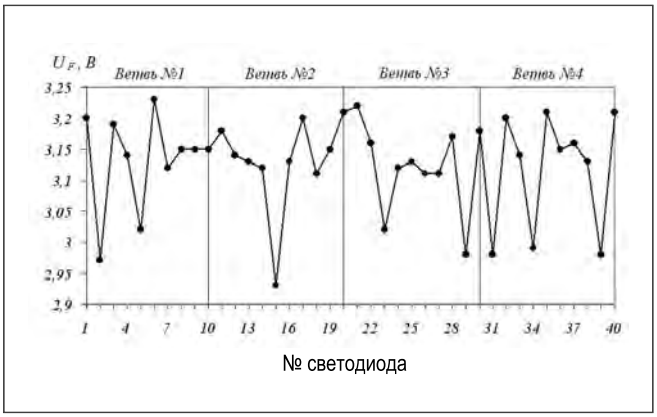


Рис. 2. Распределение значений прямого напряжения (U_F) на светодиодах светильника

[1] Полный текст статьи депонирован в редакции журнала «Светотехника»

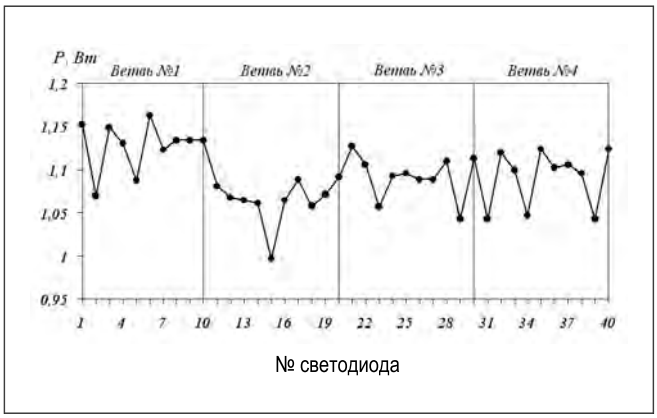


Рис. 3. Вариация мощности (*P*), выделяющейся в кристаллах светодиодов светильника

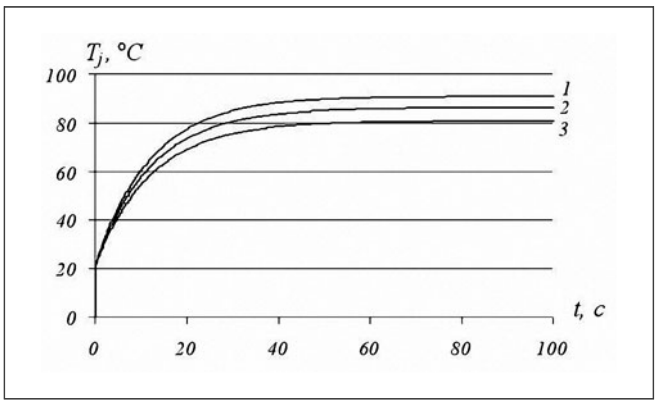


Рис. 4. Временные зависимости температуры *p–n*-перехода (T_j) светодиодов светильника: 1 – светодиод № 6; 2 – светодиод № 5; 3 – светодиод № 15

трических и тепловых параметров. Основным электрическим параметром биновки считают прямое падение напряжения на СД. Однако наше исследование выявило вариативность этого параметра СД в светильнике. Между тем биновка по тепловым параметрам не ведётся совсем, и потому в каждой ветви СДМ светильника могут оказываться СД с равными световыми параметрами, но разными электрическими и тепловыми. Соответственно, в кристаллах таких СД будет выделяться разная энергия. А вследствие вариативности тепловых параметров СД, наиболее важный из которых – тепловое сопротивление кристалл-корпус в установившемся режиме, тепло от кристалла в разных СД светильника будет отводиться с разной интенсивностью, создавая различие тепловых режимов этих СД [6, 7].

Проведённое исследование показало, что вариативность параметров СД в светильниках создаёт вариативность тепловых режимов работы СД, что неминуемо ведёт к сокращению срока службы светильников с ними [6]. Степень этого сокращения в основном зависит от степени различия между тепловыми режимами СД в светильнике. И, соответственно, заявленные производителем 70 тыс. ч данный светильник мог бы и «продержаться» лишь при работе всех его СД в одинаковых номинальных режимах (электрических и тепловых), что пока реально недостижимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Никифоров С.Г.* Светодиоды с кристаллами от SemiLEDs «под микроскопом» // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – Вып. № 3. – С. 10–16.

2. *Никифоров С.Г.* Актуальность изучения и необходимость совершенствования методик исследования деградации параметров светодиодов на основе твердых растворов AlGaInP и AlGaInN // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – Вып. № 15. – С. 36–37.

3. *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; *Bespalov 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.

4. *Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Ашрятов 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. *Bespalov 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 ElConRus). – St. Petersburg: IEEE, 2017. – С. 221.

6. *Васильев А.* Светодиоды-долгожители: правда или мистификация? // Новости электроники+Светотехника. – 2010. – № 0(1). – С. 10–12.

7. *Kapitonov Sergei S., Kapitonova Anastasia V., Grigorovich Sergei Y.* Temperature dependence modeling for powerful LED characteristics in Multisim // ARPN J. Eng. Appl. Sci. – 2017. – Vol. 12, No. 10. – P. 3328–3334.

Капитонов Сергей Сергеевич, *кандидат техн. наук. Окончил в 2010 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Доцент кафедры «Электроника и наноэлектроника» ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка систем управления светодиодными источниками света*

Капитонова Анастасия Владимировна, *инженер. Окончила в 2013 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва. Аспирант кафедры «Источники света» ФГУ ВО «Национальный исследовательский «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование и разработка светодиодных источников света и систем управления ими*

Светотехнические экспонаты на выставке «*Interlight Moscow powered by light+building*» – 2017

С 7 по 10 ноября 2017 г. в Москве, в ЦВК «Экспоцентр», проходила Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий «*Interlight Moscow powered by light+building*». Экспозиция размещалась в павильонах «Форум», 1, 7 (кроме нижнего яруса) и 8. В Выставке участвовали 550 фирм из 23 стран – значительно больше, чем в 2016 г. (444 и 18 соответственно), в большинстве своём из России, КНР, Гонконга и Республики Корея.

К сожалению, наметившаяся в 2016 г. тенденция к неучастию в Выставке крупнейших российских предприятий продолжилась: к «исчезнувшим» в 2016 г. фирмам добавились «Амира», «Вартон», «Гаусс», «Навигатор», «Лисма» и др. При общем увеличении количества корейских фирм сильно огорчило отсутствие *Seoul Semiconductor*. Но зато появилось в сумме немало новых и «возвратившихся старых» фирм-участниц Выставки.

Ниже отмечены экспозиции светотехнических изделий, показавшиеся мне наиболее интересными.

Источники света

Фактически, за вычетом экспозиций нескольких китайских фирм, представлявших уже известную по предыдущей Выставке продукцию, собственно источникам света было посвящено всего три стенда.

Во-первых, надо отметить возвращение на Выставку (после многолетнего отсутствия) одной из очень немногих российских фирм, производящих *собственные* светодиоды (СД) на *собственных* кристаллах – ООО «Лед-Энергосервис» из Санкт-Петербурга (ТМ «Оптоган»). Правда, заметного прогресса я не увидел, но порадовало само возвращение этой фирмы на выставку. Кстати, параметры СД бренда «Оптоган» по-прежнему не ниже, чем у СД лучших европейских и азиатских брендов. Кроме СД, «Лед-Энергосервис» показал и новую для него продукцию – вторичную линзовую оптику для СД (рис. 1).

Как и в 2016 г., хорошее впечатление произвёл стенд ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина», с новыми типами УФ ламп разной мощности с колбами из увиолевого и кварцевого стекла, а также новая для института продукция – печатные платы и управляющие устройства (УУ) для СД источников света (ИС), ПРА для разрядных ламп. Кроме того, экспонировались светильники с УФ излучающими диодами или с КЛЛ для компенсации УФ недостаточности в помещениях (рис. 2).

Рис. 2. Фрагмент стенда. «НИИИС им. А.Н. Лодыгина»

ГК «Свет 21 века» (Томск) демонстрировала «лампочки томича» – СД лампы (СДЛ) собственной разработки разной мощности и разного конструктивного исполнения, в том числе и филаментные. Интересно, что для некоторых из них указывалась и оптовая цена (рис. 3 и 4). Кроме СДЛ, была представлена, пожалуй, самая оригинальная в наше время и, видимо, самая нужная населению продукция – ЛН общего назначения со сроком службы не 1000, а 2000 ч. Учитывая, что в бытовом освещении в нашей стране (и не только в ней) ЛН занимают более 90 %,

Рис. 1. Фрагмент стенда. «ЛЕД-Энергосервис»

Рис. 3. Фрагмент стенда. «Свет 21 века»

Рис. 4. Оптовые цены некоторых светодиодных ламп ГК «Свет 21 века»

Рис. 5. Фрагмент стенда ГК *IEK*. В центре – светодиодные лампы мощностью 50 Вт со световым потоком 4000 лм

Рис. 6. Светодиодные лампы прямой замены с изменяемыми параметрами. «Юниэл»

удвоение их срока службы (если только не ценой снижения световой отдачи) – большой успех.

Входящее в ГК «Свет 21 века» ООО «Руслед» (Томск) показало собственную разработку – солнечные батареи мощностью до 20 кВт.

Наиболее широкий ассортимент СД ИС (СДЛ прямой замены, отдельных СД, СД модулей и лент) представили ООО «ВКЛ Импорт» (ТМ «*VKL Electric*») (Самара), ГК *IEK* (Москва) и ООО «Энергия» (ТМ «*TDM Electric*») (Москва).

Параметры СДЛ по сравнению с 2016 г. практически не изменились. Большинство фирм-дистрибьюторов указывает световую отдачу СДЛ прямой замены ЛН и ЛЛ не выше 100 лм/Вт, а срок службы – 15–25 тыс.ч.

По сравнению с 2016 г. количество СДЛ прямой замены резко увеличилось, а их цена заметно упала. Так, на стенде «Народная продукция» для СДЛ мощностью 6 Вт приводилась оптовая цена 54,13 руб., а для СДЛ мощностью 10 Вт – 51,56 руб. Заметно подешевели СД ленты: одноцветные ленты встречались и по 32 руб. за метр, а белые и с изменяемой цветностью – около 60 руб. за метр. Появились (сразу на многих стендах) СДЛ прямой замены 50-, 120- и даже 200-ваттных ЛН с цоколями *E27* и *E40* (рис. 5).

На стенде ООО «Юниэл» (ТМ «*Uniel*») были СДЛ прямой замены с изменяемой цветовой температурой и возможностью регулирования светового потока (производимые в КНР (рис. 6)). Такие же СДЛ присутствовали и на стендах ряда китайских фирм.

Большинство фирм стало приводить более достоверные параметры своих изделий с СД, чем в предыдущие годы. Типичные значения срока службы СДЛ – 25000 или, крайне редко, 30000 ч, световой отдачи – до 90 лм/Вт (в этом отношении «лампочки томича» (рис. 4), со световой отдачей 110 лм/Вт, – просто рекордсмены среди этих ламп).

Для СД модулей и просто СД нередко указывались световые отдачи до 150 лм/Вт и срок службы в 50000 ч,

Рис. 7. Один из залов павильона № 7

Рис. 8. Облучатель для теплиц с лампой НЛВД мощностью 1000 Вт. *Vossloh-Schwabe*

Рис. 9. Фрагменты стенда. *Ligman*

вполне подтверждённые испытательными лабораториями (в ООО «ВНИСИ», ООО «Архилайт» и др.)[1].

В целом же экспозиция Выставки 2017 года показала, что СД стали не только наиболее эффективными и надёжными, но и доступными по цене ИС.

Световые и осветительные приборы, осветительные и облучательные установки

СД открыли новые возможности конструирования ОП. На рис. 7 показана часть одного из залов павильона № 7. Хорошо видно невероятное разнообразие конструкций светильников, совершенно нереальных при использовании «традиционных» ИС. Да на Выставке почти и не было ОП с ними: попалось всего два таких экспоната – очень симпатичный светильник (точнее, облучатель) для теплиц с 1000-ваттной НЛВД немецкой фирмы *Vossloh- Schwabe*

Рис. 10. Фрагмент стенда. «Лидский завод электроизделий»

(рис. 8) и уличный светильник с безэлектродной ЛЛ, уже виденный на Выставке 2016 года. Зато светильников с СД было хоть пруд пруди на каждом крупном стенде.

Здесь следует отметить общую тенденцию к более грамотному конструированию ОП с СД: в частности, стало значительно меньше «слепящих» светильников с СД. В одном из предыдущих обзоров я писал, что конструкторы, вероятно, считают – «чем сильнее светильник с СД слепит, тем он лучше». Сейчас многие «случайные» фирмы с рынка ушли, а оставшиеся показывают всё большую грамотность в создании таких ОП.

Очень широкий ассортимент качественных светильников с СД для освещения наружного, промышленного, офисного и объектов ЖКХ представил холдинг *BL Group*. Из новинок хочу отметить: светильники «*GALAD* Медик *LED*» – для освещения клинических зон медицинских учреждений и других чистых помещений (мощность 35 Вт, световой поток 3500 лм, степень защиты *IP54*); подвесные светильники «*GALAD* Алькор *LED*» – для освещения улиц категорий «Б» и «В» с УУ и оптикой собственной разработки, способные работать в диапазоне температур окружающей среды от –60 до +40 °*C*; грунтовые антивандальные светильники «*GALAD* Кварц *LED*» (со степенью за-

Рис. 11. Облучатели для досветки растений. «Трансвит»

[1] В связи с этим, на ряде стендов, демонстрировавших осветительные приборы с СД, встречались цифры, довольно сомнительные (во всяком случае, не подтверждённые измерениями в серьёзных лабораториях). Так, на стенде пермского АО «Дюрэй» (ТМ «*DURAY*») сообщалось, что в его светильниках используются СД «*Nichia*» со световой отдачей 210 лм/Вт и сроком службы 100000 ч. Это напомнило аналогичный случай, бывший на выставке «Интерсвет-2009»: ООО «Фокус» экспонировало светильники с СД «*Nichia*» со световой отдачей *светильников* 100 лм/Вт и сроком службы 50000 ч, а в десяти метрах от них находился стенд самой фирмы *Nichia*, где *даже для самих этих* СД («в чистом виде») приводились более скромные цифры: 90 лм/Вт и 30000 ч.

Рис. 12. Облучательные установки для исследования спектральных предпочтений растений («Энергия» / «Фитэкс»)

щиты *IP67*) – для освещения малых архитектурных форм, садовых и велосипедных дорожек.

Как всегда, очень широкий ассортимент ОП самого разного назначения представила ГК *IEK* (Москва). Большинство изделий производится в КНР по российским разработкам, но постепенно налаживается производство и в России.

Понравился стенд российского филиала таиландской компании *Ligman*. Последняя недавно организовала производство в Барнауле с самым современным технологическим оборудованием и контрольно-измерительной лабораторией. Здесь уже производятся светильники и прожекторы с СД для наружного и внутреннего освещения. На Выставке были светильники, выпущенные именно в Барнауле (рис. 9). И ассортимент, и качество продукции произвели самые приятные впечатления. Можно только порадоваться появлению в России ещё одного крупного светотехнического завода.

По обыкновению, интересны и разнообразны по содержанию были стенды ТД «Ферекс», ООО «Брайтэлек», ООО «СТЗ Владасвет» и ООО «Гуд Лайт», но принципиально новых изделий на них обнаружить не удалось.

ОАО «Ашасветотехника» (Челябинская обл.) представило довольно хороший набор взрывозащищённых светильников с СД.

Широкий ассортимент неплохих светильников показал «новичок» Выставки – ООО «Завод светотехнической

Рис. 13. Фрагмент стенда. *Vossloh-Schwabe*

продукции» (Липецк), представлявший свои изделия под ТМ «*SOURUS*».

Ветеран ещё советской светотехнической промышленности ОАО «Лидский завод электроизделий» представил большой ряд светильников с СД для внутреннего и наружного освещения. Кроме того, ЛЗЭИ показал и новую для него продукцию – опоры уличного и паркового освещения (рис. 10).

Опоры для светильников и прожекторов представило и впервые участвовавшее в Выставке ТОО «Энергосистемы ЭЛТО» (Казахстан). Здесь были опоры и прожекторные мачты круглые и восьмигранные, в том числе с мобильной кроной, высотой до 35 м, светофорные опоры, многогранные опоры ЛЭП. Кроме опор и мачт, предприятие демонстрировало и светильники с СД собственной разработки. По-видимому, в Казахстане появился реальный конкурент ГК «Амира» и ООО «Опора-Инжиниринг».

Постоянный участник Выставки АО «Трансвит» (Великий Новгород), кроме разнообразных светильников для бытовых и офисных помещений, показал небольшие облучатели с СД для досветки растений в домашних условиях (рис. 11).

Облучатели для растений были представлены на Выставке значительно шире, чем в прошлые годы. Так, на стенде ООО «ЛидерЛайт», входящего в ГК «Инкотекс», было представлено несколько серий облучателей («фитосветильники») с СД. Серии «*Industry.3*» и «*PlantaLux INTER/UPPER*» предназначены для тепличных хозяйств, а серия «*PHITO PlantaLux HOME*» – для применения

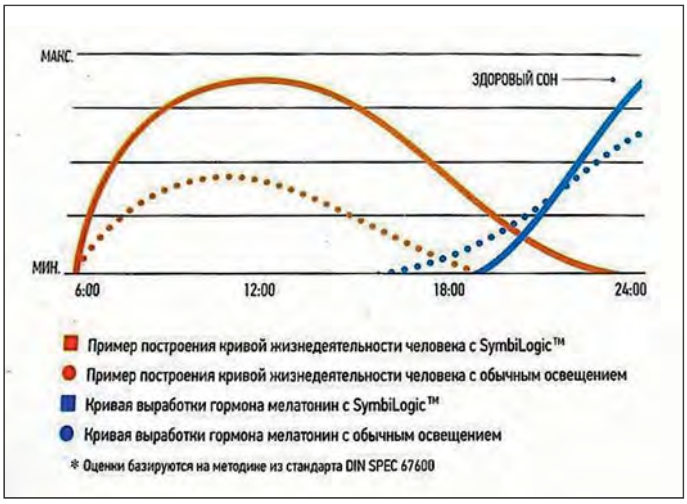


Рис. 14. Технология «*SymbiLogic*». *Esylux*

Рис. 15. Фрагменты стенда. ОАО «Зенит»

Рис. 16. Уличный светильник из композитного материала. «Металл-Композит»

в быту (досветка и выращивание рассады). Принципиально новыми здесь казались облучатели серии «*PlantaLux-HP*» – с полноспектральными СД, четыре варианта спектра которых заполняют всю область ФАР с различным соотношением долей излучения в разных зонах этой области. Мощность этих облучателей – 50–250 Вт, фотосинтетический поток фотонов – 80–400 мкмоль/с, а тип КСС – «Д», «Г» или «К» (по заказу).

ГК «Эксперт» (Новосибирск) была представлена на стенде, оформленном в оригинальной форме научной лаборатории, своим подразделением «Фитекс» (Москва). В содружестве с МСХА им. К.А. Тимирязева «Эксперт» создаёт облучатели с изменяемым спектром излучения на основе полноспектральных СД «*LUXION*» и исследует спектральные предпочтения растений на разных стадиях их роста. На основе этого создаётся программа управления спектром и интенсивностью облучения, обеспечивающая наибольшую эффективность таких облучателей (рис. 12).

Облучатели с СД для растений были представлены на стендах ООО «Светолюб» (Московская обл.), ОАО «ЭНЭФ» (Беларусь), *Vossloh-Schwabe* (ФРГ) (рис. 13) и др.

Лёгкая управляемость СД ИС и возможность их излучения во всей видимой области спектра, а также в ближних УФ и ИК областях, открыли перед светотехниками совершенно новые перспективы в освещении. Наиболее наглядно это было представлено на стенде немецкой фирмы *Esylux*. Она экспонировала светильники с СД и соответствующие ОУ для «биологически активного освещения, оптимизирующего рабочие места». При этом разработана специальная технология освещения «*SymbiLogic*», по которой в течение рабочего дня меняются уровни освещения и цветность излучения, максимально приближая освещение в помещениях к естественному. Кроме того, встроенные в светильники или независимые датчики освещённости и присутствия обеспечивают динамику освещения с максимальной энергоэффективностью (рис. 14). Для реализации технологии «*SymbiLogic*» фирмой разработана, в частности, серия напольных и подвесных светильников «*Prana+*».

Рис. 18. Фрагмент стенда. «Комета»

Рис. 17. Стенд. «Пермский свет»

Впервые на Выставке участвовало ОАО «Зенит» (Беларусь). Оно разрабатывает и выпускает автомобильные светотехнические изделия с СД – фары, габаритные, поворотные и тормозные огни, и др. Продукция «Зенита» используется как в Беларуси и России, так и в Канаде и ряде стран ЕС, что говорит о её высоком качестве. Кроме того, «Зенит» производит СДЛ и светильники с СД (рис. 15).

Оригинальный уличный светильник показало ульяновское ООО «НПП «Металл-Композит», также впервые участвовавшее в Выставке (рис. 16). Корпус светильника изготовлен из алюмоматричного композита, имеющего теплопроводность почти как у меди, но втрое меньшую плотность, чем у неё, и исключительно высокую механическую прочность. Благодаря этим свойствам удалось создать лёгкий и изящный светильник: при мощности 180 Вт его масса – менее 4 кг. Температура на СД при полной мощности не превышает допустимой. По мнению многих учёных, композиты – материалы будущего. Представленный ООО «НПП «Металл-Композит» светильник показал, что композиты могут произвести переворот в конструировании мощных светильников.

Редкую для «*Interlight Moscow*…» продукцию представил ещё один новичок – ООО «Базис» (Воронеж): специализированные светильники и прожекторы охранного освещения периметров территорий. Эти ОП имеют фотометрические тела, реализуемые лишь с помощью СД ИС.

Упомянутое выше АО «Дюрэй» представило несколько серий светильников с СД: офисных («Байкал»), промышленных («Енисей»), уличных («Эльбрус»), для ЖКХ («Алтай») и др. Они оставили хорошее впечатление, причём «Байкал» и «Енисей» удостоились в 2015 г. Евразийской светотехнической премии в рамках Международного энергетического фору-

Рис. 19. Светодиодные панели

Рис. 20. Цены некоторых светильников. «Народная продукция»

ма «*ENES*». Однако, напомним, заявленные «Дюрэй» параметры (световая отдача светильников 210 лм/Вт и срок службы 100000 ч) вызывают некоторые сомнения.

Очень большой выбор бытовых светильников с СД показало ООО «Пермский свет» (рис. 17). Номенклатура этой фирмы в основном неизменна из года в год, но на этот раз впервые не было видно ни одного светильника с ЛН.

Светильники с СД мощностью 48 Вт для офисных и бытовых помещений с дистанционным управлением цветностью белого излучения (от тёпло- до холодно-белого) показало ООО «Комета» (Ростов-на-Дону). Кроме них, «Комета» представила десятки однотипных бытовых светильников с круглыми рассеивателями из ПММА мощностью от 12 до 48 Вт (рис. 18).

Широчайший ассортимент самых разнообразных светильников с СД присутствовал на стендах крупных дистрибьютерских фирм – ООО «Энергия» (продукция ТМ «*TDM Electric*»), ГК *IEK*, ГК «Лампарт» (продукция ТМ «*Elvan*») и др.

Практически на всех крупных стендах экспонировались плоские пристраиваемые, встраиваемые и подвесные светильники с СД, чаще всего называемые СД панелями (рис. 19). Они присутствовали и на предыдущих выставках, но на этот раз к ним добавились модели толщиной

Рис. 21 Фрагмент стенда. «ЭНЭФ»

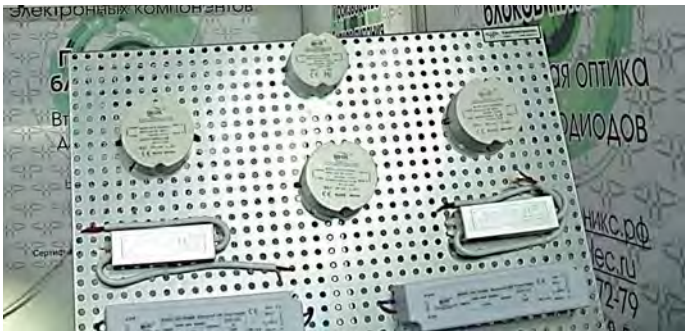


Рис. 22 Фрагмент стенда. «Наноэлектроникс»

всего 8 мм. А светотехнические параметры этих светильников по сравнению с 2016 г. практически не изменились.

За последние несколько лет светильники с СД существенно подешевели (рис. 20).

В целом Выставка показала новые успехи в применении СД в ОП и ОУ и дальнейший рост профессионализма создателей этой светотехнической продукции вкупе с её удешевлением.

Управляющие устройства и системы управления освещением, другие светотехнические изделия и материалы

На Выставке 2017 года, как и на предыдущей, практически не было новых моделей ПРА для ЛЛ и РЛВД, не считая, пожалуй, ЭПРА для УФ бактерицидных РЛНД мощностью до 350 Вт, представленных уже упомянутым ОАО «ЭНЭФ», вернувшимся на Выставку после двухлетнего отсутствия[2]. Кроме ЭПРА для РЛНД, «ЭНЭФ» производит СД модули и УУ для них, а также светильники с этими комплектующими изделиями для наружного и внутреннего освещения (рис. 21).

Весьма понравилась экспозиция ООО «Трион-LED» (Москва), впервые участвовавшего в Выставке. Им разработаны и выпускаются СД модули «*Solaris 18*», рассчитанные на прямое включение в сеть 220 В. В отличие от аналогичных широко известных модулей «*ACRICH*» корейской фирмы *Seoul Semiconductor* модули «*Solaris 18*» имеют коэффициент пульсации светового потока всего 1,4 % (у «*ACRICH*» – 100 %) и коэффициент мощности ($cos\ \varphi$) 0,97, что позволяет использовать их в светильниках внутреннего освещения.

«Трион-LED» также представил широчайшую номенклатуру УУ (и блоков аварийного питания), в том числе серий «*Arctic*» (диапазон рабочих температур от –60 до +60 °*C*) и «*Aqua*» (со степенью защиты *IP67* и встроенной молниезащитой).

Оригинальные УУ для СД ИС собственной разработки показал и новичок Выставки – воронежское ООО «Наноэлектроникс» (рис. 22).

---

[2] Эта белорусская фирма много лет успешно сотрудничает с московской фирмой «ЛИТ» в части создания облучательных установок для обеззараживания воды и воздуха на базе УФ бактерицидных РЛНД мощностью до 350 Вт. Облучатели с указанными РЛНД «ЛИТ» и ЭПРА «ЭНЕФ» успешно работают на водопроводных станциях городов России, Беларуси и ряда стран дальнего зарубежья.

Рис. 23. Клипсы для безрезьбового крепления. *BJB*

Десятки фирм представили автоматические системы управления освещением, позволяющие добиваться максимальной эффективности ОУ. Наиболее интересные и функциональные из них представили ООО «ТК «Агрос-Трейд» и ЗАО «Риэлта» (Санкт-Петербург), ООО «Светосервис-Телемеханика» (Москва), *Vossloh-Schwabe* и *Esylux* (ФРГ). Широчайший ассортимент таких систем и аксессуаров к ним показало ООО «Арлайт Групп» (Москва), однако обнаружить что-то новое в нём по сравнению с уже показанным в 2016 г. не удалось.

Множество аксессуаров для указанных систем управления (датчики освещённости и присутствия, усилители и т.п.) и электроустановочных изделий бытового назначения представила ГК *IEK*.

В части электроустановочных изделий производственного назначения как всегда первенствовала фирма *BJB* (ФРГ). На этот раз, кроме традиционной своей продукции (всевозможных соединителей и патронов, в том числе для СД модулей разной мощности), *BJB* показала свою оригинальную разработку – клипсы для безрезьбового крепления печатных плат, СД модулей и других изделий (рис. 23). Такое крепление значительно упрощает и удешевляет монтаж, в частности, светильников с СД. *BJB* был также представлен станок для крепления СД модулей и печатных плат с помощью таких клипс. (О полезности подобного решения говорит тот факт, что в 2017 г. планировалось произвести 60 млн (!) клипс по заказу производителей светильников с СД из многих стран.) И, наконец, фирма продемонстрировала свои собственные элементы вторичной оптики для СД модулей (рис. 24).

Рис. 24. Элементы вторичной оптики. *BJB*

На стенде ООО «УралСвязьСнаб» (Ижевск) также присутствовали ЭУИ производственного назначения (соединители, кабельные вводы простые и герметичные, клеммные колодки и др.), необходимые для производства светильников (рис. 25). Но произведены они в основном в КНР.

Как и в 2016 г., огромный ассортимент вторичной оптики для СД и СД модулей показали *Ledil* (Финляндия) и *Any Casting* (Республика Корея). И следует отметить, что впервые появились и российские фирмы, производящие вторичную оптику – ООО «Лед-Энергосервис» (ТМ «Оптоган) и ООО «Наноэлектроникс».

Итальянская *Gi Plast* и испанская *Polinter* представили светотехнические материалы – ПММА, поликарбонат – и изделия из них (в основном экструдированные) с очень широкой гаммой цветов и профилей.

Фотометрической аппаратуре были посвящены три стенда – участника Выставки 2016 года ООО «Смарт Системс» (Санкт-Петербург) и двух новичков – *Lisun Group* (Гонконг) и ООО «ИНТЕХ Инжиниринг» (Санкт-Петербург). Если петербургские фирмы представили реализуемую ими продукцию «чужих» производителей, то *Lisun Group* – один из крупнейших в мире изготовителей фотометрической и колориметрической аппаратуры, а также аппаратуры для измерений радиопомех, определения электромагнитной совместимости и т.п.

Выставка показала практически неограниченные возможности современной электроники в создании светотехнических осветительных и облучательных устройств. В сочетании с растущими параметрами СД открываются перспективы реализации указанных устройств, наиболее полно отвечающих потребностям человека при минимальных энергозатратах. Удешевление с каждым годом СД ламп и светильников с СД делает всё реальнее сроки их окупаемости.

Очередная выставка «*Interlight Moscow powered by light+building*» состоится 6–9 ноября 2018 г.

Рис. 25. Фрагмент стенда. «УралСвязьСнаб»

Л.П. Варфоломеев, кандидат техн. наук, член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»

Расчёт минимального тока однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии

Расчёт минимального тока однофазного короткого замыкания целесообразно выполнять по данной методике для конечных силовых и осветительных электроприёмников квартир жилых домов, офисов, предприятий торговли и т.п. при отсутствии данных об источнике питания (трансформаторной подстанции) и наружных сетях, питающих ГРЩ здания.

Расчёт выполняется для системы заземления *TN* с раздельными нулевым защитным (*PE*) и нейтральным (*N*) проводниками.

Монтаж групповой однофазной сети номинальным напряжением 230 В предусматривается кабелями или изолированными проводами с медными жилами равного сечения.

Минимальный ток однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии, согласно [1], рассчитывается по формуле

$$I_{kmin} = 0{,}8 \cdot U_o \cdot S / [1{,}5 \times \times p \cdot 1{,}2 \cdot (1+m) \cdot L], \quad (1)$$

где I_{kmin} – минимальное значение тока однофазного короткого замыкания, А; U_o – фазное напряжение источника питания, равное 230 В; 0,8 – коэффициент, учитывающий понижение напряжения при коротком замыкании; S – суммарное сечение проводников групповой сети, мм^2; p – удельное сопротивление материала проводника при 20 °*C*, Ом·мм^2/м, равное для меди 0,018 Ом·мм^2/м; 1,5 – коэффициент, учитывающий повышение сопротивления проводника при коротком замыкании; 1,2 – коэффициент, учитывающий возможное отклонение (повышение) порога срабатывания электромагнитного расцепителя изготовленного автоматического выключателя, см. пункт 7.2.1.1.4 ГОСТ [2]; m – соотношение между поперечными сечениями фазного и защитного *PE*-проводника в групповой однофазной сети; L – максимальная защищаемая длина групповой линии, м.

При равных сечениях фазного и защитного (*PE*) проводников m = 1, и тогда формулу (1) можно привести к виду

$$L = 0{,}8 \cdot U_o \cdot S / (3{,}6 \cdot p \cdot I_{kmin}). \quad (2)$$

В таблице приведены определённые по формуле (2) максимальные длины групповой сети конечных электроприёмников, обеспечивающие нормируемое время автоматического отключения питания.

Расчёты выполнены для модульных автоматических выключателей с времятоковой характеристикой *C*, применяемых для защиты групповых сетей конечных электроприёмников обще-

Таблица

Определение максимальной защищаемой длины групповой сети

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение	
Электрощит		–	Освещение	Силовое оборудование и штепсельные розетки
Количество и сечение проводников групповой сети с медными жилами	S	мм^2	3 × 1,5 мм^2	3 × 2,5 мм^2
Номинальный ток модульного автоматического выключателя с характеристикой *C*, установленного в электрощите	I_n	А	10	16
Уставка электромагнитного расцепителя модульного автоматического выключателя с характеристикой *C* по таблице 7 ГОСТ [3]	I_e	А	100 (10 А·10)	160 (16 А·10)
Уставка электромагнитного расцепителя модульного автоматического выключателя с коэффициентом, равным 1,2	$1{,}2 \cdot I_e$	А	120	192
Минимальное значение тока однофазного короткого замыкания в конце проводника	I_{kmin}	А	122 (> 120)	195 (> 192)
Максимальная защищаемая длина групповой линии	L	м	35	36,5
Время срабатывания автоматического выключателя по данным таблицы 7 ГОСТ [3] (при указанном здесь, выше, значении I_{kmin}) *	t_a	с	менее 0,1	
Максимальное нормируемое время автоматического отключения питания по данным таблицы 41.1 ГОСТ [4] при напряжении 230 В *	t_n	с	0,4	

** При максимальном нормируемом времени, равном 0,4 с, автоматический выключатель отключает питание за время менее 0,1 с.*

ственных и жилых зданий. При этом значения I_{kmin} соответствуют неравенству $I_{kmin} > 1{,}2 \cdot I_e$, гарантирующему автоматическое отключение питания, где I_e – ток уставки, при котором срабатывает электромагнитный расцепитель автоматического выключателя.

Для автоматических выключателей других серий расчёт значений I_{kmin} следует выполнять с учётом технических данных этих выключателей и сечений групповых сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по электрооборудованию. Устройства защиты и управления. Электрические устройства / 6-е изд. – М.: ООО «АББ», 2014. URL: https://library.e.abb.com/…/9CND00000000679.pdf (дата обращения: 15.01.2016).

2. ГОСТ Р 50030.2–2010 (МЭК 60947–2:2006) «Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели».

3. ГОСТ Р 50345–2010 (МЭК 60898–1–2003) «Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели переменного тока».

4. ГОСТ Р 50571.3–2009 (МЭК 60364–4–41–2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 4–41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током».

Р.И. Пашковский, инженер-проектировщик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге

Лауреаты журнала «Светотехника»

Подводя итоги 2017 года, редакция журнала «Светотехника» традиционно отметила лучших авторов, рецензентов и корреспондентов прошедшего года. Ими оказались:

Николай Иванович Щепетков – лучший автор

Родился в 1941 г.

В 1965 г. закончил с отличием Московский архитектурный институт, в 1965–69 гг. работал архитектором в проектных институтах, в 1970–73 гг. учился в аспирантуре МАРХИ, с 1974 г., преподаватель, доцент (с 1977 г.), профессор (с 1992 г.), заведующий кафедрой архитектурной (строительной) физики (с 2007 г. по настоящее время).

В 1974 г. защитил кандидатскую, в 2004 г. – докторскую диссертации.

Председатель Диссертационного совета МАРХИ, член редколлегии журнала «Светотехника».

Лауреат Государственной премии РФ в области искусства (1997 г.).

Член-корреспондент РАЕН.

Рувим Израилевич Пашковский – лучший автор раздела «Справочные материалы»

Родился в 1931 году в Ленинграде.

В 1963 году окончил электротехнический факультет Ленинградского института киноинженеров, после чего работал техническим руководителем в кинотеатрах Ленинграда.

1959–1982 годы – инженер – главный специалист-электрик института «Ленпроект».

В составе авторских коллективов проектировал и принимал участие в строительстве многих общественных и гражданских зданий и ряда промышленных объектов.

1982–2000 гг. – главный технолог треста «Электромонтаж-55».

2004–2012 гг. – главный специалист архитектурной мастерской.

Работал учёным секретарём и заместителем председателя бюро светотехнической секции Центрального правления НТОЭ и ЭП.

Соавтор двух книг по светотехнике.

С 1979 года – общественный корреспондент журнала «Светотехника».

Автор статей в журнале «Светотехника», первая статья опубликована в № 5 за 1966 год.

Михаил Леонидович Белов – лучший рецензент

Родился в 1950 г.

Окончил в 1973 г. Московский энергетический институт по специальности «Радиофизика и электроника».

С 1981 г. кандидат физико-математических наук.

С 1994 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

С 2000 г. – доктор технических наук.

С 2011 г. профессор на кафедре «Лазерные и оптико-электронные системы», а также главный научный сотрудник НИИ Радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Член Диссертационного Совета МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Опубликовал в соавторстве более 400 научных работ и учебных пособий.

В 2012–2017 гг. опубликовал в соавторстве 79 статей, индексируемых в РИНЦ, Web of Science, SCOPUS.

За последние 5 лет получил в соавторстве 6 патентов на изобретения и опубликовал 9 учебных пособий.

Ефим Александрович Лесман – лучший корреспондент

Родился в 1935 году в Ленинграде.

На протяжении ряда лет (1960–2009) работал в качестве инженера-проектировщика в Гипробуме, в Гипрорыбпроме, главным инженером проектов и главным специалистом в Ленинградском зональном научно-исследовательском институте экспериментального проектирования жилых и общественных зданий.

Активно участвовал в работе Ленинградской секции светотехники Центрального Правления НТОЭ и ЭП.

Автор книги «Освещение административных зданий и помещений» (1985 г.).

С 1979 года – по настоящее время – общественный корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге.

Автор около 600 публикаций в различных газетах и журналов.

Второе общее заседание НТС «Светотехника»

12 декабря 2017 года в зале Учёного совета НИУ «МЭИ» прошло очередное заседание Научно-технического совета «Светотехника». Со всей страны на этот научный форум приехали 37 членов НТС и 7 приглашённых специалистов, принявших участие в насыщенной повестке дня.

Открыл заседание НТС вице-президент МСК БЛ ГРУПП Н.Н. Бардюжа. В приветственном слове он от имени Председателя НТС «Светотехника» Г.В. Бооса подчеркнул необходимость расширить полномочия и преобразовать его в межгосударственное объединение.

В рамках заседания были представлены новые члены НТС: и.о. генерального директора ФГУП «ВНИИОФИ» А.С. Батурин, заместитель начальника отделения радиометрии, фотометрии, спектрофотометрии и колориметрии ФГУП «ВНИИОФИ» В.И. Саприцкий; исполнительный директор Ассоциации Честная позиция С.В. Гвоздев-Карелин; заместитель начальника отдела организации санитарного надзора по гигиене труда и радиационной гигиене Управления санитарного надзора Роспотребнадзора Т.И. Мурагимов; заместитель главного конструктора ОАО «ЦНИИ «Циклон» С.А. Стахарный; директор ЗАО «Фарос-Алеф» Л.Г. Новаковский; заместитель генерального директора Государственного Эрмитажа А.В. Богданов; руководитель направления «Энергобезопасность. Энергосбережение» организации Константа групп, член ассоциации заслуженных врачей России А.А. Филиппов.

С приветственными словами в адрес участников НТС выступили ректор НИУ «МЭИ» Н.Д. Рогалёв, депутат Государственной Думы РФ, первый заместитель председателя Думы по образованию и науке Г.Г. Онищенко, Министр по промышленности и агропромышленному комплексу ЕЭК С.С. Сидорский, советник заместителя министра энергетики РФ Д.А. Мельников.

Заместитель генерального директора Государственного Эрмитажа А.В. Богданов рассказал о себе и сообщил, что следующее общее заседание НТС «Светотехника» пройдёт в г. Санкт-Петербурге 18–20 апреля 2018 г. в рамках научной конференции «Свет в музее», организуемой совместно НТС «Светотехника», ВНИСИ им. С.И. Вавилова и Государственным Эрмитажем при поддержке ИКОМ России.

Итоги работы секции «Стандартизация и сертификация в светотехнике» за последние полгода подвела генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова А.Г. Шахпарунянц. Так, были упомянуты подготовленные профессиональные стандарты «Специалист по разработке световых приборов со светодиодами» и «Специалист по световому дизайну и проектированию инновационных осветительных установок»[1].

Об итогах работы секции «Светотехническое образование и методология» в 2017 году сделала доклад Н.С. Шерри. Она отметила работу по актуализации паспорта специальности. Принято решение обсудить все предложения в открытом формате на страницах журнала «Светотехника»[2]. Н.С. Шерри также подчеркнула важность популяризации профессии и увеличения спроса на светотехническое образование. Секцией проводится работа по вовлечению студентов в трудовую деятельность, осуществляется практическое ориентирование молодёжи. Основными задачами секции в ближайшей перспективе являются актуализация паспорта специальности и профессиональных стандартов, модернизация учебных планов, создание качественных онлайн-ресурсов, усиление практико-ориентированных подходов, использование дополнительных образовательных ресурсов и популяризация профессии.

О деятельности секции «Облучательные установки фотобиологического действия» рассказал Л.Б. Прикупец. Докладчик рассказал о развитии рынка теплиц и тепличного освещения в России, об увеличении площади теплиц в мире с искусственным освещением и разными системами освещения, об экспериментальной облучательной установке в РГАУ-МСХА и об использовании межрядной облучательной установки в хозяйстве «Тепличное» г. Саранска. Тему тепличного освещения продолжил В.М. Пчелин, посвятив свой доклад экономической целесообразности применениях теплицах светодиодного освещения.

С докладом о разработке стандарта на светильники для теплиц и стандарта на изменения облучённости в теплицах выступил В.Г. Терехов. Докладчик сообщил о вступивших в действие с 1 декабря 2017 г. стандартах ГОСТ Р 57671–2017 и ПНСТ 211–2017. Кроме того, В.Г. Терехов рассказал о проекте «Комплексные исследования в области светокультуры растений и создание серии высокоэффективных светодиодных фитооблучателей, обеспечивающих повышение энергоэффективности промышленных теплиц», работы над которым ведутся ВНИСИ им. С.И. Вавилова.

Руководитель секции «Облучательные установки фотобиологического действия» О.Е. Железникова рассказала об исследовании эффективности светодиодного освещения и разработке комплексной методики психофизиологической и гигиенической оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние человека. Участниками работы был проведён анализ современных проблем физиолого-гигиенических исследований светодиодного освещения, разработана комплексная методика оценки влияния условий светодиодного освещения на состояние органа зрения и организма человека в целом. На основании анализа результатов экспериментальных исследований по разработанной комплексной методике психофизиологической и гигиенической оценки эффективности светодиодного освещения достоверно доказано, что освещение светодиодами не оказывает вредного воздействия на зрительную систему и организм человека в целом.

На заседании, которое фактически стало однодневной научной конференцией, выступили руководители и члены секций НТС – Р.И. Столяревская («Метрология, современные методы измерения и измерительное оборудование»), В.С. Желтов, И.В. Рязанцев («Программное обеспечение и математическое моделирование»), А.А. Ашрятов («Источники излучения и пускорегулирующие аппараты»), А.Т. Овчаров, А.Н. Туркин (физфак МГУ им. М.В. Ломоносова).

Участники заседания с интересом слушали докладчиков, заседание было информативным и полезным, многие темы вызвали вопросы слушателей и активноую дискуссию. Вместе с тем, на мой взгляд, в некоторых прозвучавших в выступлениях положениях ещё предстоит разобраться светотехнической общественности, вполне возможны более детальные публикации и дискуссии, в том числе и на страницах журнала «Светотехника».

Учёный секретарь НТС «Светотехника», к.т.н. В.Ю. Снетков

---

[1] Подробнее о профессиональных стандартах см. материал на с. 48 настоящего номера

[2] Боос Г.В. О разработке нового паспорта специальности ВАК 05.09.07. «Светотехника», 2017, № 6. С. 98.

Электрическому освещению эрмитажа 130 лет

В первом номере почтово-телеграфного журнала за 1888 год в статье «Освещение в Зимнем» сообщалось об устройстве электрического освещения и центральной электрической станции в Зимнем дворце Петербурга в декабре 1887 года. В то время эта работа была выдающейся по своей уникальности, оригинальности, масштабности и занимала первое место в России, Европе и Азии. Для освещения дворца было установлено 12000 ламп накаливания. Двор освещали 56 дуговых ламп, дававших яркий дневной цвет.

Для электропитания большого количества электрических ламп проектом предусматривалось строительство фабрики электричества (электростанции), которая располагалась в специально построенном здании площадью 630 квадратных метра на Большом дворе Зимнего дворца. Электростанция состояла из восьми паровых машин, приводящих в действие 26 динамо-машин, которые вырабатывали электрическую энергию. Пуск фабрики показал, что возможно создание централизованных довольно мощных источников электричества, способных питать тысячи лампочек и других потребителей с высокой надёжностью и сравнительно дешёвой стоимостью энергии. Например, в год электростанция потребляла около 30 тысяч пудов угля. Только за 8 часов праздничного бала расходовалось почти 5 тонн угля, в обычные дни сжигалось около 1,3 тонны [1].

Однако на полную мощность она включалась лишь в торжественные дни примерно 5 раз в году. Общая мощность электростанции составляла 445 лошадиных сил [2]. Примечательно, что делегаты первого (1900 г.) и третьего (1905 г.) Электротехнических съездов единодушно отметили совершенство станции и распространили опыт её работы по всей России.

В Эрмитаже выставочные залы имеют богатое, разнообразное и уникальное архитектурно-художественное оформление интерьеров. Они, как правило, освещаются дворцовыми люстрами, многие из которых представляют собой прекрасные творения искусства. Масса некоторых люстр доходит до 1,5 тонн, количество ламп – до 180 шт., а возраст – до 200 лет.

Во время блокады Эрмитаж сильно пострадал. К осени 1944 года некоторые залы были приведены в порядок, отремонтированы и установлены на свои места 28 хрустальных люстр. А 8 ноября 1944 года после трёхгодичного перерыва снова для посетителей вспыхнули сотни электрических огней, отразившихся в хрустале и бронзе.

А уже 1 мая 1946 года в Боспорском зале Античного отдела начала действовать первая опытная установка с люминесцентными лампами. Она осветила несколько шкафов с экспонатами.

8 ноябре 1947 года состоялось первое включение люминесцентного освещения в знаменитой галереи музея 1812 года с использованием люминесцентных ламп мощностью по 30 Вт, заключённых в зеркальные параболические отражатели. В тоже время появились и первые люстры с люминесцентными лампами, созданные по проекту архитектора Е.В. Васильковского при участии профессора Д.Н. Лазарева и инженера-светотехника В.В. Телятьева. Они были установлены в восьми залах с картинами голландской школы. В люстрах были люминесцентные лампы типа ДС мощностью 15 Вт.

Интересный и мало кому известный факт. 8 января и 21 сентября 1949 года залы Эрмитажа, освещённые люминесцентными лампами, показали группе специалистов из 120 человек, которым выдали бланки для отзывов. Вот один из них, написанный академиком Б.А. Введенским:

«Замечательно! Впервые по-настоящему смог разглядеть и оценить многие знакомые картины. Освещение вполне заменяет дневное. Очень удачны люстры, не портят общего впечатления» [3].

Следует отметить, что уже к началу 1949 года 2500 люминесцентных ламп мощностью 15 и 30 Вт с разным спектральным составом излучения освещали залы.

В отдельных залах и на лестницах общее освещение дополняется светом от различных дворцовых напольных осветительных приборов или бра прекрасного художественного исполнения.

В Эрмитаже предусматривается и постоянно производится ремонт люстр, светильников в реставрационных мастерских. В них прошли «лечение» многие уникальные дворцовые люстры, которые из потускневших с годами вновь превратились в прекрасные действующие экспонаты музея.

В последнее время в Эрмитаже стали довольно интенсивно применять энергоэффективные источники света – светодиодные лампы. Они заменили в дворцовых люстрах лампы накаливания.

Компактные люминесцентные лампы используются в люстрах лишь в бытовых хозяйственных помещениях. Для надёжного электроснабжения предусмотрен и автономный источник – 3 аккумуляторных батареи, которые служат для электропитания эвакуационного освещения в аварийном режиме. В настоящее время электроснабжение Эрмитажа осуществляется от одной центральной распределительной трансформаторной подстанции и 8 трансформаторных подстанций, которые бесперебойно обеспечивают электроэнергией всех потребителей, включая и 60000 источников света.

Освещение всемирно известного музея открывает его многочисленным посетителям уникальные и выдающиеся творения созданные человеком на протяжении столетий и является одним из важных факторов в просветительской, культурной и плодотворной деятельности Государственного Эрмитажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *П.Г. Крутиков, Н.А. Принцев.* ЭРМИТАЖ-науки служат музам. – Ленинград: Наука, 1989. – С. 72.

2. *Е.Ф. Визнер.* История отопления и электроснабжения зданий Эрмитажа. Как это было. Служба главного инженера Эрмитажа. 2014 год. / Рукопись – книга находится на хранение в отделе рукописей и документального фонда Государственного Эрмитажа. Регистрационный номер: Ф. 1. Оп. 17. Ед. хр. 1382.

3. Архив ГЭ. Ф. 1. Оп. 5, Д. 136(1), Л. 158.

Е.А. ЛЕСМАН, инженер-энергетик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге

Проблемы технического соответствия светотехнических изделий и ассоциация «Честная Позиция»

Проблемы технического соответствия приобрели в последнее время на рынке РФ серьёзные масштабы. Светотехническая отрасль, к сожалению, тоже не осталась в стороне.

Наша ассоциация, целью которой является продвижение добросовестных методов ведения бизнеса, не осталась в стороне, и в качестве одного из приоритетных направлений своего развития видит решение этих проблем.

Ассоциация является объединением электротехнических компаний и холдингов, в неё входят 7 дистрибьюторов электротехнических изделий и 15 производителей, в том числе и светотехнической продукции, это компании «Световые технологии», «Центрстройсвет», *IEK*, «Технологии света», *ALB* (подразделение холдинга *EKF*) и др.

В феврале 2014 г. состоялось подписание Хартии, объединившей добросовестных участников рынка. Тогда, на первой конференции, 9 компаний договорились о том, что будут следовать честным принципам ведения бизнеса и пригласили всех участников рынка присоединиться. С того времени численность участников Хартии выросла до 56 компаний.

Самые активные участники Хартии пришли к необходимости создания инструмента для продвижения Хартии, результатом чего и стало создание ассоциации, которая начала свою регулярную работу с мая 2015 года.

Проблема технического соответствия светотехнических изделий стояла перед членами Ассоциации очень остро, поэтому её решение стало одним из главных направлений работы.

В 2015 г. в собственных лабораториях участников Хартии были проведены первые тестирования светильников различных торговых марок и выявлены проблемы технического соответствия – отклонение реальных измеренных световых потоков светодиодных панелей, например, составляли более 30 % от заявленных в сопроводительной документации.

В 2016 г. работа велась совместно с проектом Глобального экологического фонда Программы развития ООН и Минэнерго РФ «Преобразование рынка для продвижения энергоэффективного освещения». Ассоциация провела исследования 93 образцов светодиодных ламп разных брендов. По результатам этих испытаний только 12 % этих изделий соответствовали заявленным базовым характеристикам. Остальные лампы имели те или иные отклонения от показателей.

Также было протестировано 26 образцов светильников различных торговых марок. Всем производителям светильников, обнаруживших отклонения от заявленных характеристик, были направлены письма и практически все участники сообщили о том, что проведена работа по приведению светильников в соответствие.

Проблема технического соответствия имеет видимую коммерческую составляющую. Ведь стоимость светильника, световой поток которого составляет 2000 лм вместо заявленных 3000 лм, значительно меньше, чем изделия от другой компании, честно заявившей и обеспечившей 3000 лм. Таким образом, добросовестная компания теряет покупателей и свои позиции на рынке из-за нечестных конкурентов.

Нельзя не упомянуть и о том, что если при эксплуатации светового прибора, заявленные характеристики которого не соответствуют реальным, потребитель может полностью разочароваться в новых технологиях, что часто наблюдается сейчас на потребительском рынке.

Проект по техническому соответствию в светотехнике получил название – «Соответствие в светотехнике».

Для вовлечения большего количества участников в данный проект ассоциацией «Честная позиция» и АПСС была организована конференция участников светотехнического рынка, которая состоялась 29 июня 2016 г. Более 60 компаний-участников, составляющих около 80 % всего светотехнического профессионального рынка поддержали этот проект и высказались о необходимости решительных действий по наведению порядка на светотехническом рынке.

На конференции состоялось подписание важного документа – «Соглашения об этике работы на светотехническом рынке». Каждая подписавшая этот документ компания обязалась придерживаться добросовестных подходов в производстве и дистрибьюции светотехнической продукции.

Также по итогам конференции в инициативном порядке было организована рабочая группа из 14 компаний. В неё вошли как отечественные производители, так и импортёры. Очень важно то, что проект получил поддержку и тех, и других. В 2016 г. эта группа разработала регламент проекта, а также план работы проекта.

Таким образом, по итогам конференции были намечены две важные даты. К 1 февраля 2017 г. российские производители и китайские импортёры взяли на себя обязательства поставлять дистрибьюторам светильники, которые полностью соответствуют заявленным техническим регламентам и заявленным характеристикам. Второй датой была названа дата – 1 апреля 2017 г. К этому времени продукция, возможно имеющеая отклонения от указанных показателей, не должна была остаться на рынке

А в мае 2017 г. началась активная фаза проекта – закупка и тестирование светильников. На этом этапе было протестировано 68 изделий 36-ти торговых марок, в т.ч. марок участников Ассоциации «Честная позиция» и рабочей группы. Все результаты тестирования, а также документы проекта опубликованы на сайте ассоциации. С производителями, чья продукция не прошла проверку, ведётся активная работа: были разосланы информационные письма, предоставлены протоколы, чтобы они смогли предпринять действия по устранению несоответствий.

Большинство производителей с благодарностью и интересом отнеслись к полученным результатам. В самом деле, проект направлен именно на то, чтобы обратить внимание участников рынка на недостатки и предложить их исправить.

Важным моментом, о котором договорились все участники проекта является то, что светильники для испытаний закупались и будут закупаться только на дистрибьюторском рынке, а не предоставляются самими производителями или импортёрами, как это происходит обычно в сертификационном процессе. Таким образом полностью исключается практика предоставления «золотых» образцов.

Основные риски и ответственность перед покупателем при обороте фальсифицированной продукции несут дистрибьюторы и они также поддерживают этот проект. Мы рады, что его поддер-

живают не только дистрибьюторы ассоциации «Честная позиция», но и члены Ассоциации РАЭК, а также другие добросовестные дистрибьюторы. Все они объявили об отказе продавать световые приборы, не соответствующие требованиям безопасности.

Другим важным моментом является открытость проекта. Все результаты публикуются на сайте ассоциации, любая компания может предложить для испытаний свои световые приборы в проект.

Для сокращения расходов на испытания мы определили минимальный список параметров.

Но добросовестные производители, конечно же, должны обеспечивать соответствие световых приборов всем заявленным характеристикам.

В направлении технического соответствия ассоциация ведёт ещё два проекта. Первый относится к кабеленесущим системам. Участники ассоциации – производители кабеленесущих систем, компании «ДКС», *IEK*, ОСТЕК и «КМ-Профиль» – выступили с инициативой введения единой методики тестирования и оценки безопасно разрешённой нагрузки металлических кабельных лотков.

Другой проект называется «Кабель без опасности» и ассоциация ведёт его совместно с ассоциацией Электрокабель. Он направлен на продвижение соответствия на кабельном рынке.

И, конечно же, важным направлением работы ассоциации был и остаётся антикоррупционный проект по поддержке добросовестных методов ведения бизнеса в дистрибьюторском сегменте. Мы проводим ежемесячный мониторинг и по его результатам поставщиками – членами ассоциации принимаются меры по отношению к недобросовестным компаниям.

За время активной работы с мая 2015 года численность нашей ассоциации выросла в 2 раза. И мы рады, что наше движение, наши идеи и подходы получают поддержку все большего числа участников электротехнического рынка. И мы приложим все усилия, чтобы сделать нашу работу более эффективной для достижения гармоничных условий развития рынка и удовлетворения запросов потребителей только качественной электротехнической продукцией, соответствующей всем заявленным техническим характеристикам.

С.В. Гвоздев-Карелин,
исполнительный директор
Ассоциации «Честная позиция»

Правила оформления рукописей, подаваемые в журнал «Светотехника»

Журнал публикует неопубликованные нигде ранее результаты оригинальных исследований и обзорные статьи на русском языке по различным направлениям светотехники. Рукописи статей принимаются на русском и (или) английском языках. Все авторы несут ответственность за содержание статьи. Плата с авторов за публикацию не взимается, гонорар не выплачивается.

Структура статьи

Статья должна иметь структуру *IMRAD*:

1. Название
2. Авторы
3. Аннотация не более 150 слов
4. Ключевые слова на русском и английском языках не более 10 слов
5. Введение (*Introduction*)
6. Методы (*Methods*)
7. Результаты (*Results*)
8. Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (*Acknowledgement*)
9. Дискуссия или заключение (*Discussion*)
10. Список литературы

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

Список литература

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

Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

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

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

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

Оформление статьи

Оформление списка авторов

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

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, занятие научно-общественной деятельностью, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронной виде: не менее 25×32 *мм*, от 300 *dpi*.

Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоминания в тексте. Название иллюстрации или рисунка пишется после номера таблицы или рисунка.

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

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

Используемые сокращения

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

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

ВД – высокое давление

ВЧ – высокая частота

ГЛН – галогенная лампа накаливания

ГЛН НН – галогенная лампа накаливания низкого напряжения

ЗУ – зажигающее устройство

ИЗУ – импульсное зажигающее устройство

ИК – инфракрасный

ИС – источник света

КЕО – коэффициент естественной освещённости

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа

КПД – коэффициент полезного действия

КСС – кривая силы света

ЛН – лампа накаливания

ЛЛ – люминесцентная лампа

МГЛ – металлогалогенная лампа

НЛ – натриевая лампа

НЛВД – НЛ высокого давления

НД – низкое давление

НЛНД – натриевая лампа низкого давления

НН – низкое напряжение

НО – наружное освещение

ОП – осветительный прибор

ОСД – органический светодиод

ОССД – освещение светодиодами

ОУ – осветительная установка

ПРА – пускорегулирующий аппарат

РЛ – разрядная лампа

РЛВД – разрядная лампа высокого давления

СВД – сверхвысокое давление

СВЧ-лампа – сверхвысокочастотная лампа

СД – светодиод

СДЛ – светодиодная лампа

СДМ – светодиодный модуль

СП – световой прибор

УФ – ультрафиолетовый

ЭмПРА – электромагнитный ПРА

ЭПРА – электронный ПРА

ЭУ – электроустановочное устройство

λ – длина волны

η_v – световая отдача (источника света)

$T_ц$ – цветовая температура

$T_{кц}$ – коррелированная цветовая температура (КЦТ)

R_a – общий индекс цветопередачи

Φ_e – поток излучения

Φ_v – световой поток

I_v – сила света

L_v – яркость

E_v – освещённость

$V(\lambda)$ – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного зрения.

Оформление списка литературы

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

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

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

Например:

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

Шуберт Ф. Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. -М: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.;

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

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

Каршенбойм С.Г. Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДАТА2006) // УФН. – 2008. – Т. 178, № 10. –С. 1057–1064.

Патент РФ № 2159021, 04.12.2000.

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

Официальные периодические издания:

электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка

Центр правовой информации. [СПб], 2005–2007

URL: www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html (дата обращения: 18.01.2007).

Форма приёма статьи

Максимально допустимый объём статьи, как правило, 12 машинописных страниц формата *А4* и содержит не более 8 рисунков. Статья представляется в электронном виде, расширение имени файла – *doc* или *docx*, шрифт *Times New Roman*, размер шрифта –12, междустрочный интервал – 1,5, поля – верхнее и нижнее – 2, левое – 2,5, правое – 1,0).

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

Предпочтительные форматы рисунков: *jpg*, *png*, *tif*, *tiff*, *pdf*. Растровые рисунки должны иметь разрешение не менее 300 *dpi*. Оригиналы рисунков должны быть приложены отдельными файлами. Для векторных изображений желательно приложить оригинал в векторном формате. Графики, созданные в *MS Excel*, допускается передавать в документе *MS Word* вместе с текстом статьи. Необходимо учесть, если используются рисунки из других источников (например, Интернет), что каждый рисунок имеет автора, что должно быть указано.

Формулы в рукописи статьи должны быть набраны в программе *MathType*. Не принимаются статьи с формулами, набранными новым встроенным в *Microsoft® Word* (*Word* 2007–2016) редактором формул *EqEd*. Статьи подаются в том формате *doc* или *docx* редактора *Microsoft® Word*, что и были созданы – не допускается конвертация из одного формата в другой. Предпочтительным является формат *doc* редактора *Microsoft® Word* 2003.

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

В № 4 «Светотехники» за 2017 год мы публиковали работы студентов, занявших первые призовые места в конкурсе по дисциплине «Компьютерная графика», и в этом номере было решено продолжить знакомство читателей с подающими большие надежды молодыми светотехниками. Публикуем работы нового поколения студентов – победителей очередного конкурса курсовых проектов по компьютерной графике в НИУ «МЭИ».

Танец со светом

Е. Ремизова

Идея разработать данный курсовой проект именно для танцевальной студии пришла ко мне сразу, как только стало о нём известно. Большую часть своей жизни я посвятила танцу и у меня возникло желание как-то связать любимое занятие с серьёзным проектом. По своему опыту зная, что в большинстве танцевальных залов свету не уделяется должное внимание, мне захотелось создать такую концепцию освещения, которая не только удовлетворяла бы существующим нормам и доставляла комфорт танцорам, но и такой свет, который мог бы быть задействован непосредственно в танце. Целью было сделать свет одним из участников танцевального процесса.

Говоря о нормах освещённости, следует указать, что для данного типа помещения (помещение многофункционального назначения) установлены следующие значения:

- горизонтальная освещённость 400 лк
- вертикальная освещённость 150 лк

Начала я с того, что создала геометрию будущего помещения в 3DS Stidio MAX. Широкие окна на стенах позволили задействовать естественное освещение. Пара колонн разделила помещение на две функциональные зоны – зона тренировок и концертная зона. Так же было добавлено небольшое помещение для раздевалки, имеющее два окна. Затем данная геометрия была перенесена в Lightscape, где и была приведена к существующему виду с помощью добавления элементов мебели и текстур. Важными элементами помещения являются два больших зеркала на стенах зала, которые значительно влияют на количество света.

Далее пришло время анализа существующего естественного освещения, который показал, что в летний день (15:00) естественного освещения хватает для выполнения нормы освещённости в 400 лк, а вот в зимний период необходимо использовать дополнительные источники света, так как освещения явно недостаточно. Для раздевалки же нормы освещённости выполняются в любое время года.

Создавая первую концепцию освещения, я занялась осветительной установкой для тренировочной части зала, которую назвала «В лучах будущей славы». Применяемая осветительная установка создаёт равномерную освещённость, которая соответствует требованиям, в нужной половине зала. Технические возможности установки позволяют выделять те или иные участки, если возникает такая необходимость. Дополнительно задействовано освещение зоны с фортепьяно, чтобы создать комфортные условия для музыканта. При совместном использовании всех светильников, создаётся нормальная освещённость в соседней зоне, что позволяет использовать и её.

В осветительной установке задействованы приборы марки Erco линейки Downlights с опцией регулировки направленности света и настенные бра марки Bega (модель 3241) в зоне с фортепьяно. Во всех приборах используются компактные люминесцентные лампы с цветовой температурой в 6000 К.

Вторая концепция – освещение конкурсной площадки зала – «Магия танца» (рис. 1). Здесь установлена система небольших светодиодных диммируемых светильников, которая позволяет создавать интересные цветовые решения, подходящие под определённый вид танца. Отдельно выделена зона, где располагается стол жюри, и сохраняется освещение фортепьяно из первой концепции. Все элементы осветительной установки гармонично сочетаются вместе, при этом каждый элемент выполняет свои функции.

Если посмотреть на распределение освещённости в псевдоцветах (рис. 2), то можно заметить, что все нормы выполнены, в том числе на столе жюри, а также отсутствуют резкие перепады освещённости, которые могли бы создать дискомфорт для восприятия.

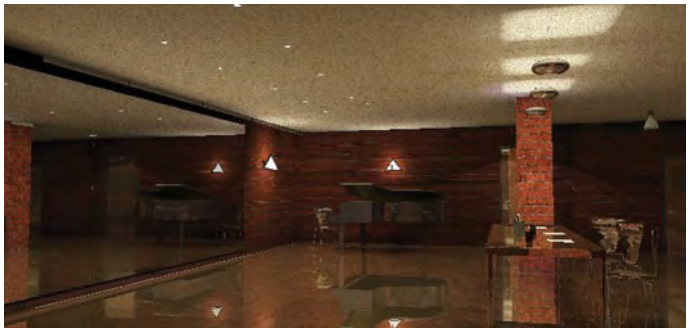


Рис. 1

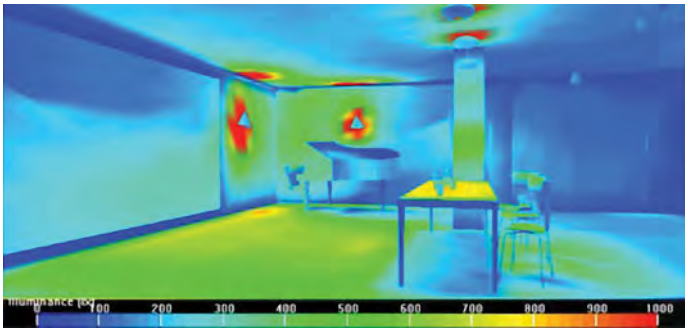


Рис. 2

В качестве световых приборов используются светодиодные светильники марки Erco линейки Downlights (Starpoint) с опцией диммирования, причём предполагается, что имеется пульт дистанционного управления для изменения цвета. Над столом жюри размещены светильники, которые я создавала сама в программе 3DS Studio MAX. Плафону придана специальная форма, с помощью которого удалось создать на потолке пятна света определённой формы. В качестве источника используется компактная люминесцентная лампа с цветовой температурой в 6000 К.

Отдельно следует рассмотреть помещение раздевалки, где была создана осветительная установка из двух боковых бра-светильников марки Bega и потолочных светодиодных светильников марки Erco Downlights. Задача данной установки заключается в том, чтобы создать достаточный уровень освещённости. Для танцора очень важно иметь возможность разглядеть самые мельчайшие детали своего образа. Согласно распределению освещённости, задача выполнена.

Рассматривая созданные концепции, хочется отметить некоторые важные моменты.

• Следует сказать, что наиболее оптимальным решением для осветительных установок в танцевальных залах является совместное использование как светодиодных, так и компактных люминесцентных ламп, поскольку каждый прибор отвечает за отдельные функции в освещении.

• С точки зрения танцора – подобная осветительная установка может создать прекрасную творческую атмосферу в зале и удовлетворить запросы любой танцевальной постановки, будь это классические танцы или латино-американская программа.

От освещения к просвещению!

Н. Соседко

Вскоре после выбора типа помещения для курсового проекта, им оказалась картинная галерея, я узнала о том, что Алексей Архипович Леонов, первый человек, вышедший в открытый космос, обладает художественным талантом и вдохновлённый этим по истине великим событием в истории развития человечества и пейзажами, которые открылись его глазу в космосе, создал немало картин, почтовых марок и иллюстраций для учебников, которые несут в себе достижения советской космонавтики на тот момент и то, каким он видит будущее космической эры. Я поняла, что хочу создать не просто картинную галерею, а некий «Футуристический мир космонавта А.А. Леонова».

Геометрия помещения, некоторые детали интерьера и один из светильников были смоделированы в 3DS Studio MAX. Расстановка мебели, наложение текстур, освещение и создание КСС для собственного светильника производились в Lightscape.

Галерея состоит из трёх частей – передней, выставочного зала и соединяющего их небольшого стеклянного моста цилиндрической формы, внутри которого расположен бассейн со скульптурой в виде большого тороидального узла в центре. В передней стоит высокий шкаф, а от него тянется линия белоснежных диванов, изогнутых словно змея, до самого эскалатора, который поднимет нас на «летающую тарелку» и мы сможем отправиться в путешествие по бескрайним просторам Вселенной. С другой стороны, эскалатора расположен пост работника галереи, преграждающий проход ко всем выключателям моего небольшого здания, а это значит, что ни один маленький и непослушный ребёнок не сможет добраться до них и нарушить атмосферу такого холодного, но в то же время прекрасного и несущего в себе миллиарды загадок, космоса. Ясным летним днём помещение заливает яркий солнечный свет от витринного окна, занявшего почти всю правую стену, но в вечернее и ночное время естественного света недостаточно и тогда включаются две светодиодные ленты на накладном алюминиевом профиле NS4932 и заливают комнату холодным белым светом. Но пост работника музея, как я уже упоминала выше, расположен за эскалатором и даже днём до него практически не доходит естественный свет. По этой причине там установлен настольный светодиодный светильник ERCO.PRIMA.

В выставочном зале две стены заняты работами космонавта. Свет должен падать на них равномерно, а так как они выполнены маслом, освещённость не может превышать 150 лк. Над каждой картиной были установлены линейные галогеновые светильники «Вернисаж» с креплением на ножку-дугу, они заливают полотно диффузным светом, цветовая температура которого составляет 3000 К, тем самым подчёркивая ледяные тона космических пейзажей. Потолок этого помещения имитирует звёздное небо – на нем раскинулись встраиваемые светодиоды трёх различных диаметров ROUND S, M, L WHITE, а в центре сверкает RW Цефея, одна из ярчайших звёзд видимой Вселенной, это и есть созданный мной светильник. В зале расположены два высоких окна и днём свет от них падает на некоторые картины, а УФ-излучение медленно, но верно губит краски, которыми выполнены работы. Чтобы этого не происходило я рекомендовала окна закрыть плотными шторами, либо использовать затемнённые стекла. Интересно, что в обоих помещениях одну из стен занимают фотообои с падающими звёздами и в белом свете они оживают и начинают мерцать.

Стеклянный мост я осветила подвесными светодиодами ROUND M WHITE с различными светофильтрами, выстроенными в круг. Палитра включает в себя несколько оттенков фиолетового и синего цветов. Фиолетовый свет частично заливает переднюю, придавая её освещению динамики, синий затрагивает выставочный зал, не нарушая атмосферу спокойствия и не переманивая внимание посетителей от картин к себе.

Рис. 1. Визуализация общего вида выставочного зала

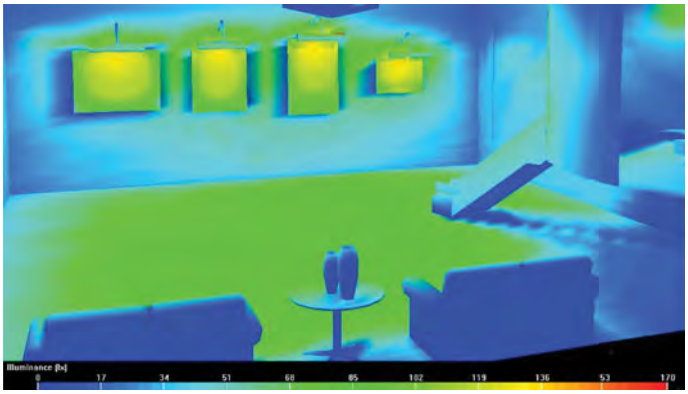


Рис. 2. Распределение освещенности в псевдоцветах

Таким образом я создала маленькую Вселенную (визуализация представлена на рис. 1, распределение освещённости в псевдоцветах на рис. 2), в которой так просто и так хочется потеряться, выполнила свою основную задачу – продолжила стилистику и идею картин художника, выполнив при этом требования СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» и ГосНИИ Реставрации. М., 1995 «Музейное хранение художественных ценностей». Попадая в эту галерею, человек становится чуть ближе к манящему миру неразгаданных тайн и загадок, всеми любимых звездопадов, солнечных и лунных затмений, который нам с вами не суждено увидеть так близко, как это удалось неимоверным трудом, терпением и настоящим героизмом Алексею Архиповичу. И теперь благодаря этому человеку каждый сможет подняться на сотни километров над уровнем моря и его глазами взглянуть сквозь светофильтр на слепящее Солнце, нашу очаровательную голубую планету Земля и на её верную спутницу Луну.

Вечерние лучи

М. Сидельникова

Как театр начинается с вешалки, так и прекрасный вечер дамы – с роскошного платья. Выбор образа, как правило, процесс весьма долгий и утомительный. Череда магазинов, десятки примерок отнимают огромное количество сил. А ведь хочется, чтобы процесс покупок ни только не утомлял, а даже напротив, создавал настроение грядущего праздника. Так возникла идея создания освещения под названием «вечерние лучи», вид которого представлен на рис. 1.

В своей работе за основу я взяла помещение, в котором предполагается продажа дорогих вечерних платьев. Спроектированное таким образом освещение должно создавать в магазине приятную расслабляющую обстановку, вызывающую чувство эйфории в преддверии важного вечера.

Несомненно, общая атмосфера магазина достаточно важный пункт, но также, при проектировании осветительной установки, не следует забывать, что всё-таки, в первую очередь, задача магазина – продажи. Освещение магазина напрямую влияет на активность клиентов и объёмы продаж. В связи с этим, передо мной возникли три основные задачи:

- Максимально эффектная презентация ассортимента
- Создание уютной для покупателей обстановки
- Формирование положительной репутации магазина

Для выполнения этих задач и создания наиболее эффективной осветительной установки, мне потребовалось обратиться к документу СНиП 23–05–95 «Естественное и искусственное освещение». Согласно указаниям этого документа, освещённость торгового зала и примерочных в магазине одежды должна быть не менее 300 лк.

Для того чтобы покупка не стала разочарованием при виде её в другом свете, индекс цветопередачи должен быть не менее 80. А также следует учесть ещё один, не менее важный параметр, связанный с индексом цветопередачи, – значение цветовой температуры, которое должно находиться в диапазоне 3000–5000 К.

Анализ дневного освещения показал, что во второй половине дня в дальней зоне торгового зала, где располагаются кассы, свет не соответствует минимальным нормам. Для зон коридора и примерочных дневной свет вовсе не доступен.

После анализа помещения и рассмотрения всех необходимых требований, была создана осветительная установка, светораспределение которой продемонстрированно на рис. 2.

Для её реализации я использовала светильники компании «Световые технологии». Так как в освещении магазина огромное значение имеет индекс цветопередачи, я использовала светодиодные источники света трёх различных видов.

Светильники модели ACQUA создают слабое равномерное освещение по центру торгового зала. В боковых зонах, зоне касс, а также в центре на кольцеобразных выступах потолка встроены поворотные светильники модели EOS. С их помощью решается проблема недостаточной освещённости в зоне касс в дневное время суток.

Наличие поворотных светильников в центре позволяет сделать световой акцент в любом месте, в зависимости от желания заказчика. В какое-то время, в магазине могут стоять манекены, а в другое время могут быть установлены тумбы с одеждой. Независимо от расположения тех или иных предметов мебели, которое со временем может меняться, с помощью центральных поворотных светильников ассортимент всегда будет подчёркиваться самым выгодным и привлекательным образом. Боковые зоны, где располагается основная часть товара, так же должны быть подчёркнуты самым эффективным способом, чего нам и позволяют добиться светильники EOS.

В примерочных установлены ACQUA и дополнительные светильники модели BANO. Чтобы вещь была рассмотрена самым наилучшим образом и вопросов после покупки не возникало, свет в примерочных сделан в двух вариантах. Первый вариант представляет собой мягкий немного приглушённый свет, если потребуется рассмотреть, к примеру, украшенное стразами вечернее платье. Но для некоторых товаров, важно знать, как будет выглядеть вещь при дневном освещении. На этот случай, в примерочных уставлены дополнительные светильники, позволяющие создать освещение близкое к дневному яркому свету.

Таким образом, за счёт использования светодиодов мы получили высокий индекс цветопередачи, возможность регулирования освещения в зависимости от расположения ассортимента, что предполагает более выгодную его презентацию. А также экономию бюджета, за счёт снижения электропотребления и длительного срока службы ламп.

В результате такого варианта освещения при использовании мягкого света создаётся эффект небольших теней, который воздействует на человека расслабляющим образом. Акцентные светильники создадут особую игру света, в следствие чего, у покупателей будет возникать приятное ощущение в преддверии праздника или какого-либо другого важного в их жизни события. А различные варианты света в примерочной, позволят рассмотреть покупку при различных условиях освещённости и во всех деталях, что позволит сформировать положительную репутацию магазина.

Рис. 1. Освещение торгового зала магазина

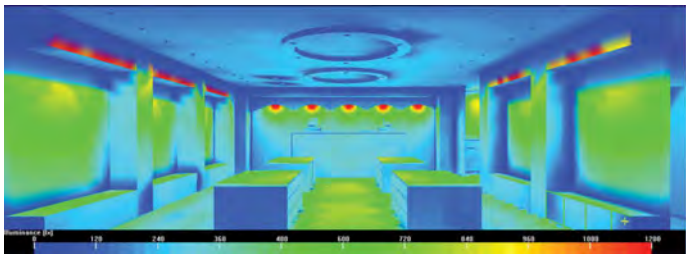


Рис. 2. Освещение торгового зала в псевдоцветах

ПАМЯТИ ГАЛИНЫ ВАСИЛЬЕВНЫ КАМЕНСКОЙ (5.10.1934– 9.01.2018)

9 января 2018 г. покинула наш мир КАМЕНСКАЯ ГАЛИНА ВАСИЛЬЕВНА – замечательный человек, очаровательная женщина, верный друг и любящая жена выдающегося учёного-светотехника А.Б. Матвеева. Она родилась 5 октября 1934 г. в г. Милане в семье дипломата. В школу пошла в 1942 г. в эвакуации в г. Ульяновске и уже в Москве закончила её в 1952 г. с серебряной медалью. Очень любила литературу и мечтала поступить на факультет журналистики МГУ. Но семейный совет решил, что она должна быть инженером, и в том же году Галина Васильевна стала студенткой факультета ВПФ МЭИ. На старших курсах попала на светотехническое направление подготовки инженеров. Здесь она познакомилась с А.Б. Матвеевым, а осенью 1957 года они стали мужем и женой и не разлучались более 50 лет.

В 1958 г. Галина Васильевна начала работать в Экспериментальной сценической лаборатории МХАТ им. А.П. Чехова. Здесь она сконструировала световой прибор для освещения сцены, который был запущен в производство и долго использовался в театрах страны. В 1962 г. поступила в аспирантуру НИИ Строительной физики. Её научным руководителем был В.В. Мешков. В 1968 г. успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «Роль цветовой адаптации и индукции в проектировании цветового оформления промышленных интерьеров». Результаты этой работы вошли в опубликованные «Рекомендации по проектированию цветовой отделки интерьеров общественных зданий» (Стройиздат, 1984 г.).

После окончания аспирантуры работала в НИИ Охраны труда в лаборатории Т.А. Глаголевой, где участвовала в разработке нормативных документов по освещению объектов специального назначения. Долгое время – с 1975 по 1993 гг. – была заведующей лабораторией электроосвещения в ЦНИИЭП инженерного оборудования жилых и общественных зданий. Под её руководством была создана уникальная установка плоскостного моделирования освещения улиц и архитектурных сооружений. Установка позволила провести экспериментальные исследования качества наружного архитектурного освещения фасадов зданий и уличного освещения, а также разработать методику проектирования архитектурного освещения. Эти разработки были удостоены бронзовой медали ВДНХ. Результаты экспериментальных исследований уличного и архитектурного освещения вошли в нормативные документы и ведомственные инструкции по проектированию электрооборудования общественных зданий и были положены в основу нормирования наружного архитектурного освещения по всей стране, войдя в МГСН 2.06–99, СНиП 23–05–95 и СП 52.13330.2011. Работы Г.В. Каменской и её лаборатории были известны и востребованы во многих проектных организациях страны.

Под руководством Г.В. Каменской было разработано архитектурное освещение таких известных объектов, как музей изобразительных искусств им. А.С. Пушкина, Кремль и ансамбль церквей г. Новгорода, уличное освещение и архитектурные ансамбли г. Старая Русса.

В 1993 г. Г.В. Каменская перешла на работу на кафедру светотехники МЭИ, где в это время была создана специализация «Световая архитектура, дизайн и реклама». Она разработала новый курс «Архитектурное освещение» для этой специализации и читала его на 5 курсе вплоть до 2005 г. Активно помогала студентам и аспирантам МЭИ и МАРХИ.

Галина Васильевна была красивой, умной, обаятельной женщиной, не преклонялась перед начальством, умела отстаивать свои взгляды. Подчинённые обожали её за мудрость, доброту и отзывчивость. Любила компании образованных жизнерадостных людей, славилась своим гостеприимством. Вместе с А.Б. Матвеевым проехала на байдарках почти всю Карелию. Она с оптимизмом и юмором воспринимала все жизненные коллизии. Добрая память о светлом человеке – Г.В. Каменской – надолго останется в наших сердцах.

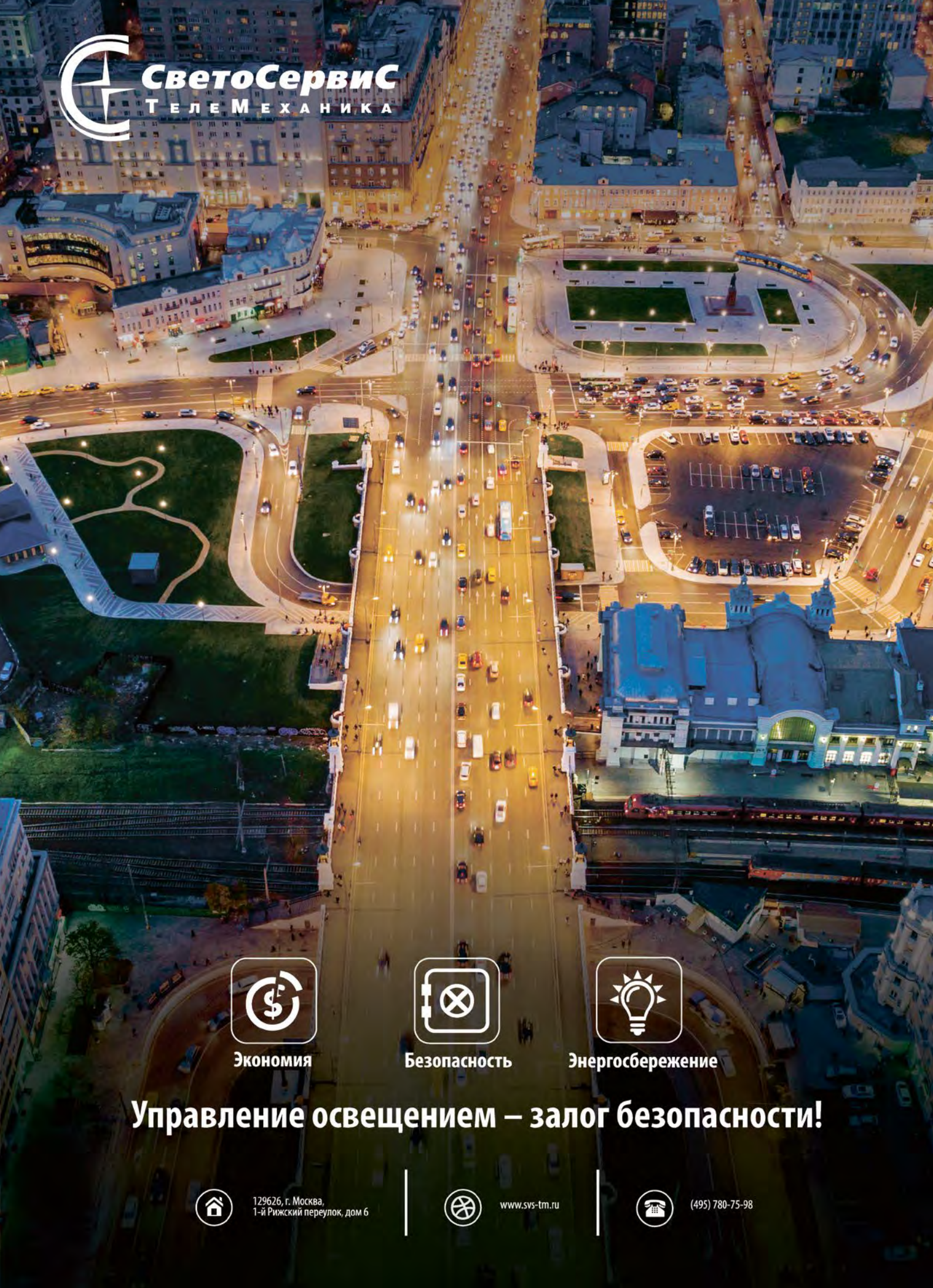
Редакция журнала,
сотрудники кафедры «Светотехника» МЭИ,
ученики и друзья

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

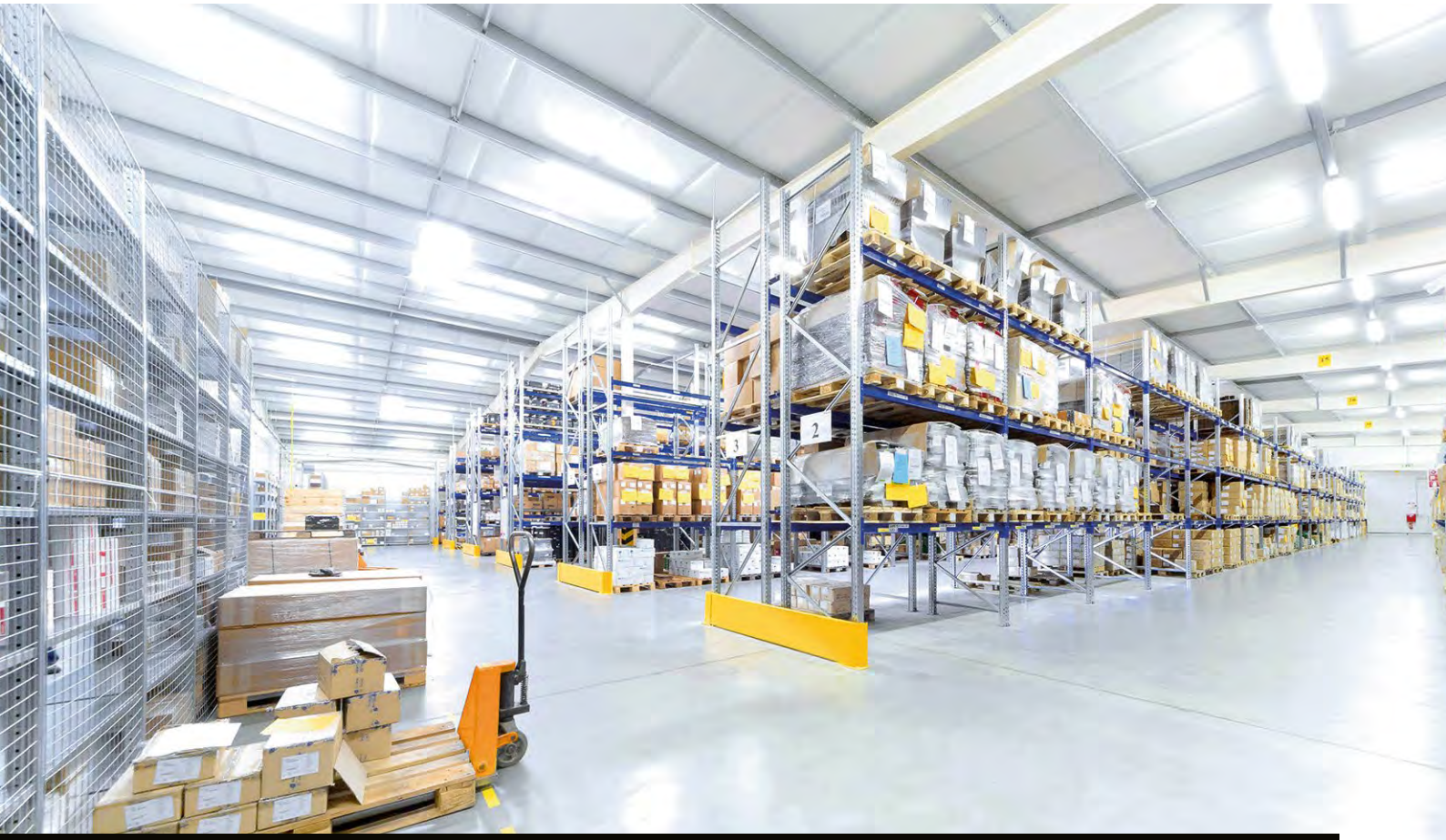
Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

BL Group Холдинг BL GROUP
ВНИСИ
REFLUX HID Lighting systems
PHAROS-ALEF
TS TENZOSENSOR
СОЛАР МАГИЧЕСКИЙ СВЕТ
VS LIGHTING SOLUTIONS
FAGERHULT
СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ
enercom СОЗДАЕМ ЛИДЕРОВ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ
ЛИТ
НИИ
Светотехнический завод ВЛАДАСВЕТ
ГСТЗ г. Гагарин

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-42849 от 01 декабря 2010 г., выданное Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Тираж 1200. Цена свободная.


СветоСервиС
ТелеМеханика
Экономия
Безопасность
Энергосбережение
Управление освещением – залог безопасности!
129626, г. Москва,
1-й Рижский переулок, дом 6
www.svs-tm.ru
(495) 780-75-98

LIGHTING SOLUTIONS



«LED Industry Kit» – светодиодные модули для промышленного освещения

Компания «Vossloh - Schwabe» представляет сборные светодиодные модули «LED Industry Kit» для освещения производственных помещений, складов, спортивных сооружений.

Модули состоят из следующих компонентов:

Светодиодная плата с контактными зажимами
- рабочий ток: 350,500,700,1050 мА
- точность передачи цвета: 3-шаговый эллипс МакАдама
- угол излучения: 120°

Прозрачная оптика из поликарбоната
- высокая эффективность: до 92%
- стойкость к удару: IK08/5 Дж
- степень защиты: IP65 (с силиконовым уплотнением)

Радиатор алюминиевый анодированный
- отверстия для установки платы и оптики под самонарезающие винты
- имеется кабельная втулка M16x1,5 для кабельного ввода IP65

Более подробная информация: на www.vossloh-schwabe.com

ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ СЛУЖБЫ:
> 60000 часов (L80/B10)

ВЫСОКАЯ СВЕТООТДАЧА:
до 181 лм/Вт при Тр = 50°С

ГИБКОЕ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ, БЛАГОДАРЯ ТРЕМ ВИДАМ ОПТИКИ

A member of the Panasonic group Panasonic