ISSN 0039-7067

СВЕТО ТЕХНИКА

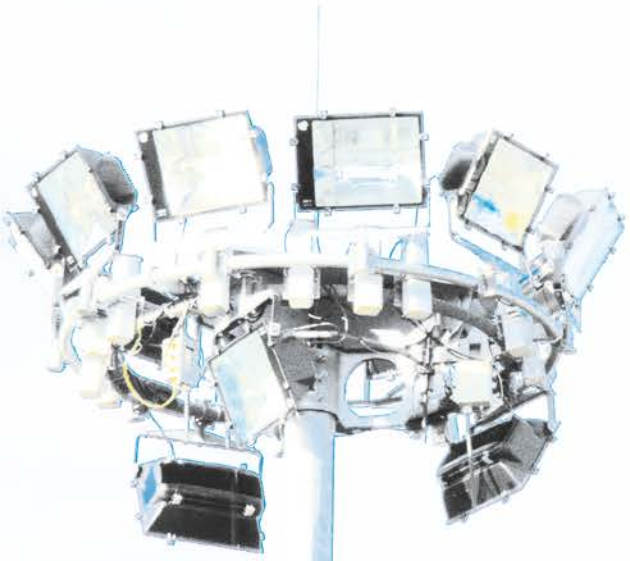
3·2017

WWW.GALAD.RU WWW. OPORA-E.COM

ОСВЕЩЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ, ПРОМЫШЛЕННЫХ И ДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Отечественный производитель металлоконструкций:
молниеприёмники до 60 м
мачты со стационарной короной высотой до 50 м
мачты со стационарно-мобильной короной высотой до 50 м
мачты с мобильной короной высотой до 45 м

Сертифицированы в ГАЗПРОМСЕРТ



opora engineering

GALAD

VS LIGHTING SOLUTIONS

ОСВЕЩЕНИЕ МАГАЗИНА «ГЛОБУС ГУРМЭ»

МОСКВА, КУТУЗОВСКИЙ ПР-Т, 48

лампы.рф
ОСК Лампы.РФ
127410, Москва, Алтуфьевское ш., 37с1
+7 (495) 921-12-22 I www.lamps.ru

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

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

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

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

LED Line AluFix – LUGA

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с января 1932 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ:

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

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
В.Е. Бугров, д.ф.-м.н., проф., Университет ИТМО, С.-Петербург
Н.В. Быстрянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
О.Е. Железникова, к.т.н., Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва
А.А. Коробко, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва
Л.Г. Новаковский, к.т.н, Фарос-Алеф, Москва
А.Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск
Л.Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
В.М. Пятигорский, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
А.К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва
К.А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург
А.Г. Шахпарунянц, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., МАРХИ (ГА), Москва

129626, Москва, проспект Мира, 106, ВНИСИ, оф. 327
Тел. 7(495)682–26–54
7(499)706–80–65
Тел./факс: 7(495)682–58–46
E-mail: journal.svetotekhnika@mail.ru
Интернет: www.sveto-tekhnika.ru
Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

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

Администратор сайта
Е.М. Новикова

Стилист английской версии
М.Д. Виноградова

Секретарь редакции
А.В. Лукина; journal.svetotekhnika@mail.ru

Дизайнер-верстальщик
А.М. Богданов

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

Сдано в набор 15.05.17
Подписано в печать 02.06.17
Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00
Тираж 1200

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

СОДЕРЖАНИЕ

В НОМЕРЕ

Создание отраслевого научно-технического совета «Светотехника» 4

Боос Г.В. Отраслевой научно-технический совет: цели, задачи и пути их решения 5

Бизнес и инновации 8, 16, 22, 28, 41, 45

Агафонова Т.А, Клыков М.Е. Современное состояние и перспективы развития пускорегулирующих и управляющих устройств для разрядных и светодиодных источников света 10

Будак В.П., Мешкова Т.В., Нотфуллин Р.Ш., Желтов В.С. Оценка качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости 17

Васильев Д.В., Григорьев А.А., Ларюшин А.И. Корабельные светотехнические средства палубной авиации 23

Стецкий С.В. Сравнительный анализ функциональных характеристик солнцезащитных средств для гражданских зданий в условиях жаркого и солнечного климата 29

Виджаялакшми Б., Синдхубала К. Экспериментальная система передачи данных видимым светом при наличии помех, создаваемых внешней засветкой 34

Абрашкина М.Л., Сысоева Е.А. Требования к энергетической эффективности, маркировке и экодизайну светотехнической продукции: европейский опыт 42

Каратекин К. Освещение тоннелей светильниками с мощными светодиодами на примере городского автодорожного тоннеля в г. Стамбуле 46

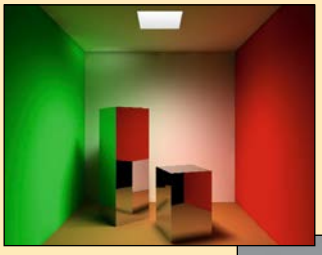
Айзенберг Ю.Б. Моя деятельность в светотехнической науке и промышленности (творческий отчёт) 52

ДИСКУССИИ

Пашковский Р.И. О нормировании искусственного освещения (Овчаров А.Т., Железникова О.Е., Лебедкова С.М., Федюкина Г.В.) 63

3•2017
МАЙ • ИЮНЬ

СВЕТОТЕХНИКА



СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пашковский Р.И. Область применения в электроустановках устройств защитного отключения 65

Столяревская Р.И. Прогнозирование технического ресурса светильников со светодиодами 70

Международные конференции и выставки в 2017 году (II полугодие) 76

ХРОНИКА

Семинар МКО, посвящённый стандарту МКО *S025/E:2015* 78

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Освещение магазина светодиодными модулями компании *Vossloh-Schwabe* 1

Кадошкинский электротехнический завод 51

Светильник *GALAD Cordoba LED*78 79

Первое заседание отраслевого научно-технического совета **1 с. обл.**

Освещение территорий промышленных предприятий **2 с. обл**

*«**Interlight** Moscow powered by light+building» (*анонс) **3 с. обл.**

Новая продукция компании *Vossloh-Schwabe* **4 с. обл.**

СОЗДАНИЕ ОТРАСЛЕВОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕТА «СВЕТОТЕХНИКА»

Москва, 17 апреля 2017 г.

С целью максимально возможного объединения разобщённых в течение длительного времени специалистов, фирм и организаций по инициативе заведующего кафедрой светотехники НИУ «МЭИ» Г.В. Бооса, четырьмя учредителями (кафедрой светотехники НИУ «МЭИ», ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Холдингом БЛ Групп и редакцией журнала «Светотехника») создан отраслевой научно-технический совет (НТС) «Светотехника». Первое общее заседание НТС было проведено 17 апреля 2017 года в Москве в пресс-центре МИА «Россия сегодня».

В заседании приняли участие 95 членов НТС и приглашённых специалистов. Модераторами мероприятия выступили главный редактор журнала «Светотехника» профессор В.П. Будак и профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета А.Т. Овчаров.

Открыл заседание шеф-редактор журнала «Светотехника» профессор Ю.Б. Айзенберг. С приветственными словами выступили представитель Министерства энергетики РФ Д.А. Мельников, 1-й заместитель председателя комитета Государственной Думы РФ по образованию и науке Г.Г. Онищенко, директор Департамента промышленной политики Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) Н.Г. Кушнарёв, министр топлива и энергетики республики Крым и член НТС С.А. Бородулина и министр энергетики Московской области и член НТС Л.В. Неганов, которые пожелали участникам совета успешной и плодотворной работы.

После приветственных слов собранию было предложено подтвердить полномочия действующего председателя НТС Г.В. Бооса или выдвинуть альтернативного кандидата на этот пост. Из 52 членов НТС в зале присутствовали 47 человек, и все они единогласно проголосовали за кандидатуру Георгия Валентиновича. Также единогласно было утверждено Положение о научно-техническом совете «Светотехника».

Председатель НТС «Светотехника» Г.В. Боос выступил перед собравшимся с программной речью «Отраслевой НТС: цели, задачи и пути их решения», полный текст которой публикуется в настоящем номере журнала (с. 5).

После своего доклада Г.В. Боос назначил и представил собравшимся руководящий состав совета. Заместителями председателя НТС стали: от журнала «Светотехника» – Ю.Б. Айзенберг; от ВНИСИ им. С.И. Вавилова – генеральный директор А.Г. Шахпарунянц; от кафедры светотехники НИУ «МЭИ» – заместитель заведующего кафедрой по организационной работе А.А. Григорьев.

Для эффективной работы совета были сформированы 8 научных секций, представляющих наиболее актуальные направления развития отрасли:

- секция «Стандартизации и сертификации в светотехнике» (руководитель секции – генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова А.Г. Шахпарунянц);

• секция «Облучательные установки фотобиологического действия» (руководитель секции – зав. лаборатории ВНИСИ им. С.И. Вавилова Л.Б. Прикупец);

• секция «Метрология, современные методы измерения и измерительное оборудование» (руководитель – зам. главного редактора журнала «Светотехника» Р.И. Столяревская);

• секция «Световые приборы и технологии, используемые при создании световых приборов» (руководитель – генеральный директор ООО «Рефлакс» В.М. Пчелин);

• секция «Светотехническое образование и методология» (руководитель – советник президента Холдинга БЛ ГРУПП Е.Ю. Матвеева);

• секция «Программное обеспечение и математическое моделирование» (руководитель – главный редактор журнала «Светотехника» В.П. Будак);

• секция «Осветительные установки и физиология зрения» (руководитель – директор института электроники и светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва О.Е. Железникова);

• секция «Источники излучения и пускорегулирующие аппараты» (руководитель – заведующий кафедрой источников света МУГ им. Н.П. Огарёва А.А. Ашрятов).

В ходе заседания были заслушаны доклады от каждой из секций НТС, посвящённые наиболее важным проблемам направления и путям их решения.

На должности учёных секретарей были назначены заместитель заведующего кафедрой светотехники НИУ «МЭИ» по учебной работе В.Ю. Снетков и учёный секретарь ВНИСИ им. С.И. Вавилова Д.Д. Юшков.

Заседание проходило в деловой и конструктивной атмосфере, среди содокладчиков и выступающих в прениях были профессор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева И.Г. Тараканов, директор «Лайтинг бизнес консалтинг» С.А. Боровков, начальник лаборатории ВНИИОФИ Б.Б. Хлевной, генеральный директор ООО НТП «ТКА» К.А. Томский, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова А.Э. Юнович, генеральный директор Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС) Е.В. Долин и другие. С видеозаписью всех выступлений, предложений и пожеланий, прозвучавших в этот день, можно ознакомиться на сайте НТС– http://nts-svet.ru.

По всем организационным вопросам, связанным с деятельностью НТС, следует обращаться к ответственному секретарю НТС Фадеевой Юлии Сергеевне (тел./факс: + 7 495 788–32–96, эл. почта: info@vnisi.ru).

Учёный секретарь НТС «Светотехника»
В.Ю. Снетков.

ОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ: ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Г.В. Боос

Российская светотехника является частью международного светотехнического сообщества, и, как и во всём мире, светотехническая отрасль России находится на этапе интенсивной модернизации и активного развития. Внедрение светодиодного освещения совершило переворот как в технике освещения, так и в технологии производства светотехнических изделий.

С 2011 г. по 2015 г. ёмкость рынка осветительных приборов выросла на 74 % в количественном выражении и на 36 % – в стоимостном. Безусловно, основой такого роста в первую очередь стало увеличение рынка изделий со светодиодами. По прогнозам до 2020 г. общая ёмкость рынка осветительных приборов увеличится ещё на 43 % в количественном и на 73 % – в стоимостном выражениях. При этом, по некоторым экспертным оценкам, доля светодиодных приборов увеличится до 80–90 % в количественном и стоимостном выражениях.

В советское время координацию развития отраслей и определение главных задач, стоящих перед ними, осуществляли различные министерства, тогда как сегодня они в значительной степени утратили эти функции. Именно эта причина побудила кафедру светотехники НИУ «МЭИ», журнал «Светотехника», Холдинг БЛ ГРУПП и ВНИСИ им. С.И. Вавилова выступить с инициативой создания отраслевого НТС – координирующего органа, определяющего стратегические и тактические задачи отрасли, наиболее остро стоящие перед ней проблемы и пути их решения.

Проведённый нами анализ положения в отрасли и предложения членов НТС позволили сформировать и представить на рассмотрение общего собрания со-

став секций, отвечающих за работу совета в наиболее актуальных, по нашему мнению, направлениях современной светотехники. Далее – коротко о каждом из этих направлений.

Секция «Стандартизация и сертификация»

Стандартизация является одним из важнейших направлений деятельности в светотехнике, которое, используя результаты научных исследований, играет роль «идеологической» основы развития светотехнической отрасли. Фонд действующих на сегодняшний день межгосударственных и национальных стандартов РФ в области светотехники составляет 170 документов, большая часть из них (107) являются межгосударственными. Работа по созданию новых и модернизации существующих документов активно и продуктивно ведётся: только за последние 5 лет было разработано порядка 85 стандартов. Большую роль в этой работе сыграл Технический комитет 332, действующий на базе ВНИСИ.

Одной из основных областей применения светотехнических стандартов является область испытаний осветительных приборов. Как известно, сегодня перед отраслью весьма остро стоит проблема качества светотехнической продукции, а стандартизация и проведение испытаний и измерений – наиважнейшие инструменты контроля качества и эффективности. При этом испытания должны проводиться в строгом соответствии со стандартами методов испытаний, на современном и поверенном оборудовании, квалифицированным персоналом. И таких лабораторий у нас, к сожалению, единицы. Как пример, можно привести испытательный центр ВНИСИ, который является в настоящее время единственным испытательным центром в нашей стране, который участвовал в Международных сличительных испытаниях в 2014 году, организованных Международной комиссией по освещению и Международным энергетическим агентством. В 2017–2018 гг. вновь организованы эти испытания, призванные подтвердить компетентность испытательных лабораторий на международном уровне, и мне хочется надеяться, что от нашей отрасли в этих испытаниях примут участие значительно большее количество лабораторий, чем в 2014 г. По крайней мере, в этом заинтересованы все производители световых приборов

Должен сказать, что я коснулся лишь нескольких «болевых точек» российской системы стандартизации, тогда как в этой области предстоит большая работа, требующая совместных усилий всех собравшихся.

Секция «Облучательные установки фотобиологического действия»

Проблемы секции «Стандартизации и сертификации в светотехнике» непосредственно связаны с проблемами секции «Облучательные установки фотобиологического действия», поскольку в этой области и в России, и за рубежом практически полностью отсутствует необходимая нормативная база. Вместе с тем, тепличный сектор агрокомплекса России динамично развивается. В «двери теплиц» «стучатся» уже облучатели как с традиционными, так и со светодиодными источниками, что даёт возможность оптимизации спектра излучения для важнейших видов растений. Большое энергопотребление облучательных установок для теплиц требует внедрение в практику новых систем эффективных величин для растений, проведение работ по разработке фитофотометрических приборов, организацию и проведение фитобиологических исследований по оптимизации требований к спектру светодиодных и других облучателей и установлению оптимальных уровней облучённости при светокультуре растений.

Вопросы постановки совместных с медиками и психологами исследований влияния излучения на циркадные и нейроэндокринные системы людей также должны находится в зоне внимания этой секции, также как и подготовка стандартов невизуального воздействия облучения на человека. Важно отметить, что работа по созданию первых стандартов для тепличного освещения уже ведётся во ВНИСИ, и об этом сегодня, видимо, ещё будет сказано.

Секция «Метрология, современные методы измерения и измерительное оборудование»

Развивающееся быстрыми темпами осветительное оборудование, в том числе и на основе светодиодов, диктует новые задачи в областях фотометрии, колориметрии, спектрорадиометрии некогерентного оптического излучения. По этим направлением сегодня имеется ряд вопросов, требующих разработок новых методик измерений, создания новых эталонных источников излучения, в том числе первичных или специальных спектральных эталонов. К таким задачам относятся методики определения синей опасности излучения или фотобиологической безопасности современных осветительных приборов. Необходимы методики измерения фотосинтетически активной радиации (ФАР) осветительных (облучательных) приборов, методики и приборы для измерений фотонных потоков ФАР.

Секция «Световые приборы и технологии, используемые при создании приборов»

Появление новых источников света, ПРА и устройств управления, материалов, постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования дают светотехнике новые возможности разработки и производства световых приборов с новыми техническими и потребительскими качествами. Открываются новые, и не только светотехнические, функциональные возможности световых приборов. И это, безусловно, требует своего пристального внимания и изучения.

Секция «Программное обеспечение и математическое моделирование»

Особенность настоящего периода – свершившаяся цифровая революция, в результате которой все знания

приобрели цифровую форму: программы, базы данных, интернет-сайты, электронный документооборот. Все виды светотехнических расчётов и проектирования сейчас базируются на программном обеспечении. Программы создаются различными производителями, основываются на разных алгоритмах, что зачастую приводит к отсутствию корреляции результатов расчётов по ним и несовпадению с последующей практикой внедрения.

Гармонизация алгоритмов расчётов и программ, разработка различного рода проверочных тестов, выработка рекомендаций для рационального использования – одна из важнейших задач, стоящих перед соответствующей секцией НТС.

Секция «Источники света и устройства управления для светодиодов»

Энергоэффективность, надёжность источников света и устройства управления (в том числе и светодиодных драйверов), колориметрические характеристики и их стабильность, проблемы комплекта «источник света – устройство управления», стандартизация и сертификация всего комплекта – одна из самостоятельных задач отрасли, важность которой во многом обусловлена бурной динамикой развития светодиодов, влияющей на развитие и традиционных источников света.

Секция «Осветительные установки и физиология зрения»

Возможности, предоставляемые современной электроникой, изменяют наши представления о функциях и характеристиках осветительных установок. Сегодня необходим анализ этих возможностей и выдача обоснованных рекомендаций по их внедрению. В рамках секции «Осветительные установки и физиология зрения» следует также развить работы по исследованиям влияния светодиодного освещения на зрительное утомление, зрительную работоспособность, психофизиологическое состояние детей и взрослых при длительном пребывании в помещениях с таким освещением.

Необходима разработка обоснованных обобщённых нормативных требований к освещению светодиодами, фотобиологическая, физиолого-гигиеническая оценка эффективности светодиодного освещения, грамотное проектирование осветительных установок с учётом повышения их энергоэффективности, качества и безопасности, контроль нормируемых параметров осветительных установок в процессе их эксплуатации.

Кроме того, в связи с появлением светодиодов и их активным и успешным внедрением, совершенно очевидно, устарела действующая система показателей эффективности, и необходима выработка нового интрегрального показателя эффективности.

Секция «Светотехническое образование»

Проблема несовпадения реалий и требований к образовательному стандарту со стороны работодателей будущих специалистов-светотехников, прежде всего в части знания технологий производства и конструирования современных световых приборов и проектирования современных систем освещения, требует незамедлительного решения: задачи, ставящиеся перед светотехническим образованием, должны опережать потребность отрасли более чем на 5 лет. Между тем наша отрасль переживает самое массовое за всю свою историю обогащение специалистами из смежных сфер – микроэлектроники, схемотехники и т.д. Востребованность и роль светотехнических специалистов, выпущенных специализированными светотехническими кафедрами, существенно снижается. Всё это требует выработки новых образовательных стандартов, отвечающих интересам отрасли (причём, интересам «завтрашнего дня»), а также гармонизации программ со смежными специальностями, в том числе в различных вузах страны.

Важнейшей задачей секции является также поднятие престижа светотехнической профессии среди абитуриентов. А это немыслимо без повышения качества образования, чему должно содействовать оснащение вузов современным оборудованием и обеспечение высокого уровня подготовки профессорско-преподавательского состава. Очень актуальна и подготовка преподавательских кадров из специалистов-практиков и способной молодёжи.

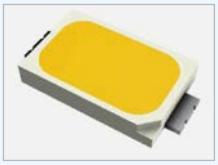
В ситуации с изменяющимся производством и рынком, с по-разному подготовленными специалистами, работающими сегодня в светотехнической отрасли, возрастает также роль курсов повышения квалификации, в том числе и с дистанционной формой обучения.

В заключение я хотел бы отметить, что задачами всех секций совета являются также развитие интеграции внутри страны, установление связей между ведущими российскими и иностранными научно-образовательными центрами и высокотехнологическими предприятиями, подготовка необходимых публикаций, организация и проведение научно-практических конференций, семинаров и совещаний по профильной тематике.

При подготовке сегодняшнего заседания бюро НТС получило много чрезвычайно важных и нужных предложений. Все они должны быть досконально изучены сформированными секциями и внесены проектами решений на рассмотрение бюро или очередного общего заседания НТС. Деятельность НТС будет всесторонне освещаться на страницах нашего профессионального научного издания – журнала «Светотехника».

Перечисленные мной проблемы отрасли – лишь маленькая «толика». Решать их предстоит нам, и сделать это можно только объединив усилия, опыт и знания всех нас – ведущих представителей отрасли. Благодарю всех вас за то, что вы здесь, за то, что неравнодушны к судьбе нашего общего дела – светотехники. Спасибо за внимание!

Acuity приобрела у *Vital Vio* лицензию на технологию дезинфекции посредством светодиодов



Компания *Acuity Brands* сообщила о лицензионном соглашении с недавно созданной компанией *Vital Vio*, которое позволит ей использовать технологию «*VioSafe White Light Disinfection*» в своих осветительных приборах (ОП) с СД. *Acuity* собирается использовать технологию «*VioSafe*» в своих изделиях для таких областей применения и объектов, как обработка пищевых продуктов и помещений для хранения продуктов, чистые комнаты и лаборатории, спортивные сооружения, образовательные учреждения, отели, транспортные узлы и даже офисы. В «*VioSafe*» используется фиолетовый свет СД, медленно разрушающий бактерии, и белый свет, служащий для освещения.

Разработанная компанией *Vital Vio* технология дезинфекции «*VioSafe White Light Disinfection*» позволит компании *Acuity Brands* создавать ОП с СД, которые будут непрерывно дезинфицировать помещения.

Однако такая обработка требует времени, что относит её к категории непрерывной дезинфекции. Так что ОП *Vital Vio* будут гореть в таких помещениях, как спортивные раздевалки, непрерывно. По словам президента и соучредителя компании *Vital Vio*, можно за один день уничтожать 90 % бактерий. При этом в отсутствие людей в помещении для экономии энергии белый свет ОП *Vital Vio* можно отключать.

Однако *Vital Vio* – не единственная компания, разрабатывающая такую технологию непрерывной дезинфекции: аналогичная серия светильников («*Indigo-Clean Continuous Disinfection*») есть и у компании *Kenall Manufacturing*, и пока что неясно, конфликтуют ли между собой права этих компаний на интеллектуальную собственность, т.к. обе утверждают, что у них есть патенты, охватывающие ключевые моменты дезинфекции с использованием фиолетовой части спектра.

www.ledsmagazine.com
08.05.2017

BL TRADE подписал Этическую хартию

Ведущие компании светотехнической отрасли делают реальные шаги для регулирования отрасли «изнутри» и в направлении к более цивилизованному рынку. 12 мая 2017 года лидеры индустрии подписали Этическую хартию бизнеса в сфере производства, импорта и дистрибуции светотехнического оборудования.

Лидеры отрасли чётко заявили о своей приверженности принципам честной конкуренции и подтвердили полную нетерпимость к незаконной таможенной и налоговой оптимизации. Соблюдение участниками рынка правил цивилизованного рынка является непреложным условием добросовестной конкуренции. Смысл проекта – в снижении риска для всех, кто работает на этом рынке. Реализация положений Этической хартии поручена Управляющему комитету под эгидой Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС) и оператору проекта – отраслевому маркетинговому агентству *Lighting Business Consulting* (*LBC*). На регулярной основе будет осуществляться анализ данных таможенной статистики, выявление признаков случаев ввоза с нарушениями. Под мониторинг попадает весь импорт светильников и светодиодных ламп.

Первыми Этическую хартию подписали 9 компаний: *BL TRADE* (В.А. Лунчев), ГК *IEK* (А.А. Степашин), *TDM ELECTRIC* (В.А. Морозов), *ASD / LLT* (А.В. Созонтов), *NAVIGATOR* (М.Д. Манцев), *JAZZWAY* (М.А. Крупышев), МГК «Световые Технологии» (Д.О. Налогин), *VARTON* (И.И. Сивцев) и ЗАО «Центрстройсвет» (А.О. Халатов). Подписанты Этической хартии и АПСС ведут работу и с другими участниками рынка по присоединению к общей инициативе. Уже в ближайшие месяцы предполагается как минимум удвоить число подписантов.

www.bl-g.ru
17.05.2017

Компания *Soraa* занялась светильниками направленного света

Компания *Soraa*, специализирующаяся на светодиодах (СД) по технологии «*GaN*-на-*GaN*», объявила о включении в диапазон своей деятельности рынка светильников направленного света. Новая серия «*Arc*» отличается отлитым под давлением весьма низкопрофильным радиатором и оптимизирована по наилучшему отводу тепла.

«Используемая компанией *Soraa* базовая технология «*GaN*-на-*GaN*» – вот что отличает нас от всех других мировых производителей СД, – сказала вице-президент компании *Soraa*, ответственная за светильники и руководящая проектированием серии «*Arc*». – И именно научные достижения, лежащие в основе этой технологии, позволяют нашей команде проектировать эти приборы с небольшим выходным отверстием и узким световым пучком, которых нет больше ни у кого».

В серию «*Arc*» вначале войдут шинопроводные (трековые), подвесные, светящие вниз (даунлайт) и поверхностного монтажа светильники, а также светильники с приспособлениями для работы в системе *Soraa* «*SNAP*», светильники с тубусами и настенные светильники омывающего света. Все эти приборы будут содержать СД модули «*light engine*» разной цветности излучения с R_a 95, R_9 > 95 и R_w 100.

Стандартные цвета корпуса – чёрный и белый, но по требованию возможны и другие цвета. Светильники «*Arc*» с углами излучения 9, 10 и 15º совместимы с существующей системой *Soraa* «*SNAP*», что позволяет производить дополнительную настройку пучка и цветности излучения.

«Ознакомившись со светильниками направленного света серии «*Arc*» наши клиенты были поражены тем, насколько предлагаемое компанией *Soraa* комплексное решение подходит для самых разных областей применения, – сказал первый вице-президент по продажам компании *Soraa*. – И так как мы сейчас можем предложить нашим клиентам полностью интегрированную сверхтонкую конструкцию, которая к тому же имеет гарантию совместимости и лучшее в своём классе светорегулирование, то специалисты по выбору товаров (для закупки) начинают пересматривать подходы к проектированию осветительных установок: выделять, а не скрывать светильники».

www.compoundsemiconductor.net
08.05.2017

«АШАН» переходит на освещение светодиодами

Переход на энергосберегающие технологии соответствует политике «АШАН Россия», направленной на защиту окружающей среды и достижение целей устойчивого развития. «В центре деятельности нашей компании – люди, их благополучие и стремление постоянно улучшать сервис. Поэтому любые из наших бизнес-решений призваны, прежде всего, отстаивать интересы сотрудников и наших клиентов, – говорит Олег Игнашин, руководитель проекта по энергоэффективности «АШАН Россия». – Проект модернизации освещения на

базе умных световых решений *Philips* не только полностью соответствует нашим стремлениям заботиться о комфорте персонала, но также позволяет потреблять минимальное количество электроэнергии при выполнении требуемых норм освещения и отвечает нашим целям устойчивого развития». С тех пор, как гипермаркеты стали популярны в России, представители крупного ритейла с большими торговыми помещениями постоянно ищут возможность снизить издержки на содержание магазинов на фоне наращивания продаж. При огромных площадях гипермаркетов существенная часть затрат приходится на освещение. Поэтому одним из способов оптимизации расходов может стать модернизация освещения – переход на интеллектуальные светодиодные системы. В 2016 году лидер на рынке крупного ритейла – компания «АШАН Россия» начала усовершенствование системы освещения в своём магазине в ТЦ «Ритейл Парк». Специалисты *Philips Lighiting* разработали проект на базе магистральных светильников *Philips* «*CoreLine Trunking*» пятого поколения со световой отдачей 138 лм/Вт, обеспечивших экономию электроэнергии более чем на 50 % по сравнению со светильниками с люминесцентными лампами, быструю окупаемость и высокую световую отдачу. На данный момент, «АШАН» реализует большую программу по переоснащению всех магазинов на светильники со светодиодами. Значительная часть магазинов будет оборудована светильниками *Philips* «*CoreLine Trunking*» шестого поколения со световой отдачей 148 лм/Вт.

Помимо перехода на светодиоды, был сделан выбор в пользу системы управления *Philips* «*StoreWise*», разработанной специально для ритейла. Такая технология посредством сенсорной панели или удалённого доступа позволяет выставлять необходимый уровень освещения в торговом зале магазина. Система активирует световые сценарии в зависимости от времени суток. Уровень освещения можно адаптировать исходя из расстановки товаров на полках или под проведение специальных рекламных мероприятий. При этом благодаря сочетанию светодиодов и «умной» технологии *Philips* «*StoreWise*» удалось добиться экономии до 50 % по сравнению с использованием других светодиодных систем. Благодаря реализации проекта освещённость в торговом зале гипермаркета «АШАН» достигла требуемой нормы 800 лк. При этом светильники обеспечили необходимый запас освещённости при диммировании: при 20 %-ном понижении светового потока уровень освещённости в некоторых отделах составляет 1000 лк. Снижение освещённости позволяет пропорционально дополнительно снижать энергопотребление светильника и продлевать его ресурс. Установка светодиодной системы позволила добиться быстрой окупаемости инвестиций и минимальной стоимости владения на весь период её эксплуатации. «Сегодня переход на светодиодные системы освещения – один из значимых шагов на пути к достижению целей устойчивого развития крупным бизнесом. Каждый год мы наблюдаем всё больше заинтересованности в решении подобных задач со стороны наших заказчиков, – говорит Марина Тыщенко, вице-президент и исполнительный директор *Philips Lighting* в России, СНГ и Центральной Азии. – При этом светодиодные технологии сокращают прямые затраты на освещение и техническое обслуживание вдвое, а также способны подстроиться под любые нужды ритейла в области привлечения внимания покупателей».

www.svetozone.ru
17.05.2017

Открыт приём проектов на конкурс «Российский светодизайн - 2017»

В мае 2017 г. был дан старт приёму конкурсных проектов для участия в ежегодном конкурсе дизайна освещения «Российский светодизайн - 2017», который проходит уже более 15 лет в рамках выставки *Moscow Interlight powered by light+building*. Как и в прошлом году, конкурс проводится среди реализованных и студенческих проектов освещения в трёх номинациях: «Лучший проект наружного освещения», «Лучший проект внутреннего освещения» и «Лучший дизайн осветительного прибора».

Организаторами конкурса выступают ВНИСИ им. С.И. Вавилова, компания *Messe Frankfurt Rus* и Союз дизайнеров России. Итоги конкурса подводятся международным жюри с привлечением ведущих российских и зарубежных специалистов в области светотехники и светового дизайна. Постоянный состав жюри включает в себя представителя Международной Ассоциации световых дизайнеров *IALD* (в качестве председателя жюри), Генерального директора ВНИСИ им. С.И.Вавилова, Президента Союза дизайнеров России и представителя выставочной компании *Messe Frankfurt RUS*. Состав расширенного жюри конкурса формируется ежегодно из приглашенный специалистов, являющихся профессионалами в области дизайна, архитектуры, осветительной техники и светодизайна.

Участие в конкурсе бесплатное. Заявки на участие в конкурсе принимаеются до 1 октября 2017 г.

http://rldc.ru
29.05.2017

Объявлен лауреат премии «Глобальная энергия» 2017

В Москве на официальной пресс-конференции назвали имя лауреата Международной премии «Глобальная энергия». В 2017 г. высокой награды удостоен учёный из Швейцарии Михаэль Гретцель «за выдающиеся заслуги в разработке экономичных и эффективных фотоэлементов, известных как «ячейки Гретцеля». «Ячейки Гретцеля» предназначены для создания недорогих, производительных солнечных электростанций». В июне он получит золотую медаль премии и 39 млн руб.

Лауреат 2017 г. был определён на заседании Международного комитета по присуждению премии «Глобальная энергия». Комитет возглавляет известный британский учёный – лауреат Нобелевской премии Родней Джон Аллам. В шорт-лист номинантов «Глобальной энергии» вошли 10 человек из Австралии, Великобритании, Германии, Испании, России и США. Победитель XV номинационного цикла был выбран из 186 претендентов, которые представляют 31 страну.

В этом году «Глобальная энергия» присуждается за изобретение «ячеек Гретцеля» –эффективных фотоэлементов, изначально работающих на органическом красителе на принципах, отчасти схожих с биохимическими, с помощью которых растения преобразуют энергию света. Работу такого фотоэлемента часто сравнивают с фотосинтезом: в обоих случаях используются окислительно-восстановительные реакции, протекающие в электролите. Фоточувствительные элементы на основе таких ячеек могут представлять выгодную альтернативу дорогим и сложным технологиям фотогальванических батарей, создаваемых на основе кремния.

В производство ячейки Гретцеля впервые поступили в 2009 г. На первом этапе они обладали низкими показателями эффективности (3–8 %). Исследователи во главе с Гретцелем более 20 лет работали над повышением КПД устройства и, используя новые материалы, в частности, перовскиты, и другие нововведения, добились показателя в 22,1 %. Несомненное преимущество батарей на основе ячеек Гретцеля – их удобство с потребительской точки зрения: гибкость, возможность выполнения в различных цветах, в том числе их можно делать прозрачными. Они способны вырабатывать электроэнергию на различных диапазонах частот солнечного излучения, вплоть до инфракрасного. Это означает, в частности, возможность встраивать такие элементы в оконные стёкла, достигая двойного эффекта с охлаждением помещений и попутной электрогенерацией.

Торжественное вручение премии по традиции состоится на Петербургском международном энергетическом форуме (ПМЭФ), который пройдёт 1–3 июня в Северной столице.

Е.А. Лесман, инженер-энергетик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге

Современное состояние и перспективы развития пускорегулирующих и управляющих устройств для разрядных и светодиодных источников света

М.Е. КЛЫКОВ[1], Т.А. АГАФОНОВА[2]

[1] ООО «ВНИСИ», Москва
[2] ФГБУН «ВИНИТИ РАН», Москва
E-mail: mikhail.klykov@mail.ru

Аннотация

Представлен обзор современного состояния и перспектив развития пускорегулирующих аппаратов и управляющих устройств, соответственно, для разрядных и светодиодных источников света. Приведены классификация схемотехнических решений и примеры принципиальных электрических схем выпускаемых аппаратов и устройств.

Ключевые слова: пускорегулирующие аппараты, управляющие устройства, разрядные лампы, светодиоды, источники света, источники тока, источники напряжения, регулирование.

1. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп

В зависимости от элементной базы пускорегулирующие аппараты (ПРА) для разрядных ламп (РЛ) разделяются на электромагнитные (ЭмПРА) и электронные (ЭПРА).

1.1. ЭмПРА

ЭмПРА содержат дроссели, трансформаторы и конденсаторы. Ток лампы при работе с ЭмПРА близок к синусоидальному и имеет сетевую частоту, 50(60) Гц. ЭмПРА просты, дёшевы, выпускаются по десятилетиями отработанной технологии, обеспечивающей их высокую надёжность.

Обобщённая схема ЭмПРА представлена на рис. 1. Она содержит балластный дроссель *L* (для стабилизации тока лампы), компенсирующий конденсатор *C* (для компенсации реактивной мощности) и зажигающее устройство *ЗУ* (стартёр для ЛЛ или импульсное зажигающее устройство для РЛ ВД (НЛВД, МГЛ, ламп «ДРЛ» и др.).

Усреднённые параметры дросселей для разных типов ламп приведены в табл. 1–3 [1].

Благодаря простоте, надёжности и дешевизне эта схема включения РЛ в сеть переменного тока вот уже добрых 60 лет является основной. И только в последние 10–15 лет серьёзную конкуренцию им начали составлять ЭПРА.

1.2. ЭПРА

При всей своей простоте, дешевизне и надёжности ЭмПРА имеют такие недостатки, как значительные масса, габариты и потери мощности, ограниченные функциональные возможности, принципиально не позволяющие оптимальным образом согласовывать характеристики питающей сети и источников света, а следовательно, и не обеспечивающие все необходимые режимы зажигания и горения РЛ. Следствием этого, например, являются высокий уровень пульсаций светового потока РЛ (из-за малой инерционности люминофоров и процессов в разряде кривая мгновенных значений светового потока РЛ на частоте 50 Гц практически повторяет в течение каждого полупериода полусинусоиду кривой мгновенной мощности РЛ), акустический шум аппаратов, проблемы регулирования тока лампы. Кроме того, синусоидальная форма тока, которую обеспечивают ЭмПРА на частоте 50–60 Гц, далеко не оптимальна для ЛЛ не только с точки зрения пульсаций светового потока, но и в плане их световой отдачи и срока службы. Питание РЛ током прямоугольной формы или повышенной частоты (>20 кГц), обеспечиваемое переходом на ЭПРА, практически полностью исключает пульсации светового потока РЛ, повышает их срок службы, а в случае ЛЛ на (10–25)% – световую отдачу.

Структурные схемы ЭПРА представлены на рис. 2 и 3.

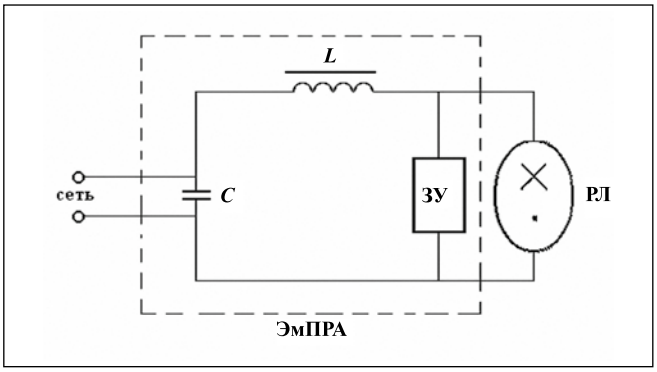


Рис. 1. Обобщённая схема электромагнитных ПРА

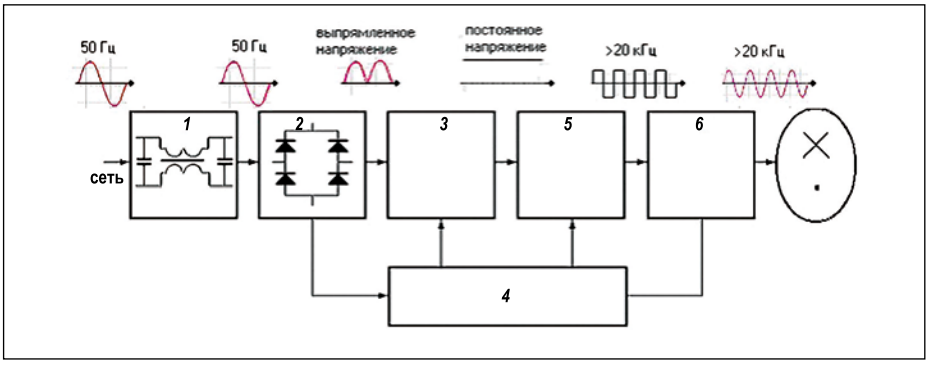


Рис. 2. Структурная схема высокочастотных электронных ПРА: *1* – фильтр радиопомех, *2* – выпрямитель, *3* – корректор коэффициента мощности, *4* – блок управления, *5* – инвертор, *6* – выходной блок

• Схема по рис. 2 в основном предназначена для питания ЛЛ током ВЧ (более 20 кГц). Для питания МГЛ и НЛВД она применяется реже из-за проблем, связанных с акустическим резонансом. В состав этой схемы входят следующие основные блоки:

– Фильтр радиопомех. Для подавления ВЧ помех, создаваемых ЭПРА в питающей сети, используются П-образные или двойные П-образные фильтры из дросселей и конденсаторов.

– Выпрямитель. Устанавливается в случае работы комплекта от сети переменного тока.

– Корректор коэффициента мощности. Как и выпрямитель, устанавливается при работе комплекта от сети переменного тока. Обеспечивает близкую к синусоидальной форму входного тока, близкий к 1 коэффициент мощности и малые гармонические искажения входного тока. Наиболее перспективны активные корректоры коэффициента мощности, представляющие собой транзисторные импульсные регуляторы на базе преобразователя напряжения повышающего или понижающего типа (рис. 4). Обе схемы корректоров содержат транзисторы *T*, диоды *VD*, дроссели *L*, конденсаторы *C* и управляющие интегральные микросхемы *ИМС*, размещённые в блоке управления *4*.

Помимо функций коррекции коэффициента мощности и формирования синусоидальной формы входного тока, они одновременно могут выполнять функции стабилизатора или регулятора выпрямленного сетевого напряжения.

– Инвертор. Предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное с частотой более 20 кГц (выше звукового диапазона) и выполняется на транзисторах по полумостовой или мостовой схеме.

– Блок управления. Обычно представляет собой микросхему, одновременно управляющую транзисторами корректора коэффициента мощности и инвертора.

– Выходной блок. Обеспечивает согласование выходных характеристик инвертора с пусковыми и рабочими характеристиками РЛ. Наибольшее распространение в качестве выходного блока получила схема, представляющая собой резонансный *LC*-контур, дроссель которого включён последовательно, а конденсатор – параллельно РЛ. В пусковом режиме эта схема обеспечивает зажигание РЛ, а в рабочем – стабилизацию её тока.

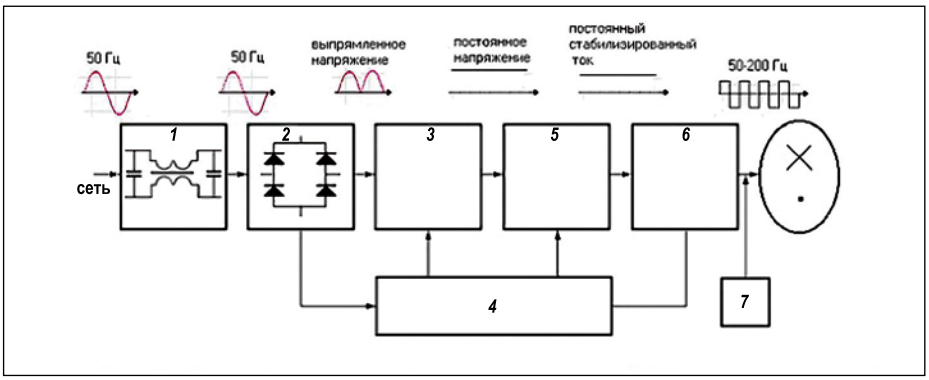


Рис. 3. Структурная схема низкочастотных электронных ПРА с прямоугольной формой выходного напряжения: *1* – фильтр радиопомех, *2* – выпрямитель, *3* – корректор коэффициента мощности, *4* – блок управления, *5* – стабилизатор тока, *6* – инвертор, *7* – зажигающее устройство

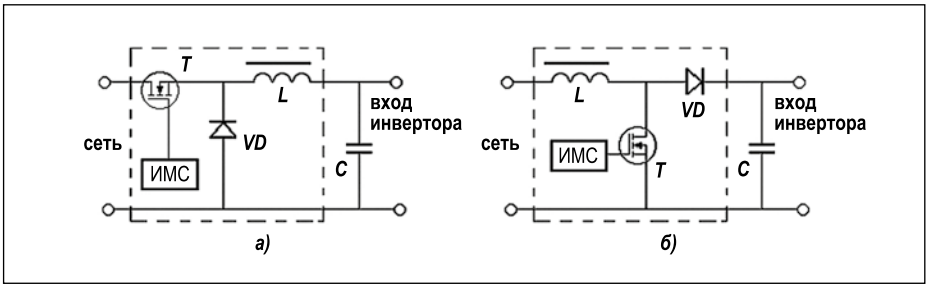


Рис. 4. Схемы активного корректора коэффициента мощности на базе понижающего (*а*) и повышающего (*б*) импульсных регуляторов

• Схема по рис. 3 в основном используется в ЭПРА для МГЛ и НЛВД. Проблема акустического резонанса в ней решается путём работы на частотах, заведомо «свободных» от этого явления: 50–200 Гц, т.е. на низких частотах. При этом для линеаризации динамической вольтамперной характеристики РЛ используется прямоугольная форма их тока. В отличие от высокочастотной схемы (рис. 2) низкочастотная (рис. 3) содержит дополнительный блок – стабилизатор тока, выполненный по схеме импульсного ВЧ регулятора, а инвертор служит только для периодического изменения полярности тока лампы (с частотой 50–200 Гц) с целью обеспечения симметричной работы электродов и недопущения возникновения катафореза. В ряде случаев инвертор выполняет также функцию зажигания РЛ, тогда зажигающее устройство в виде отдельного блока отсутствует.

2. Управляющие устройства для светодиодов

В связи с малой единичной мощностью СД применяют, как правило, их групповое подключение к управляющему устройству (УУ). Варианты такого подключения приведены на рис. 5.

В варианте по рис. 5, *а* СД соединены в одну последовательную цепь, обтекаемую одним током. УУ в этом случае должно иметь характеристику

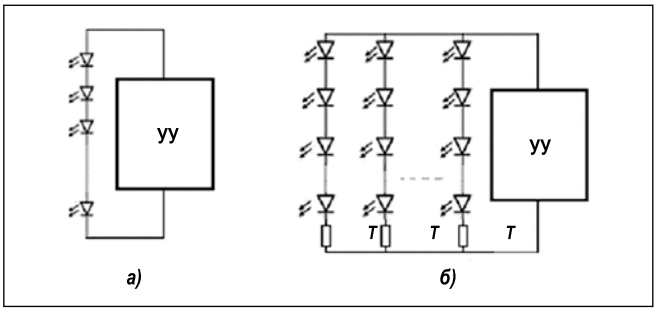


Рис. 5. Варианты подключения светодиодов к управляющему устройству

Таблица 1

Потери мощности в дросселях для люминесцентных ламп

Класс дросселя	Потери мощности, Вт, с лампой мощностью		
	18 Вт	36 Вт	58 Вт
D	12	10	14
C	10	9	12
B2	8	7	9
B1	6	6	8

Таблица 2

Параметры дросселей для МГЛ

Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	Коэффициент мощности	Габариты, мм			Масса, кг
			L	*B*	*H*	
70	14,2	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43				
150	19,5	0,42	133			2
250	28		135	85	70	3,15
400	29	0,5				3,18

Таблица 3

Параметры дросселей для НЛВД

Мощность лампы, Вт	Потери мощности, Вт	Коэффициент мощности	Габариты, мм			Масса, кг
			L	*B*	*H*	
70/50	14/9	0,39	111	66	53	1,5
100	16	0,43				
250	28	0,42	135	70	85	3,15
400	32	0,40	165			4,3
1000	55	0,43	196	105	90	10,0

источника тока. В особо ответственных случаях с целью исключения погасания всей цепи при обрыве одного из СД последние могут шунтироваться специальными реле (на рисунке не показаны), замыкающими электроды СД в случае его обрыва. В качестве таких реле могут, например, использоваться активные шунты фирмы *ON Semiconductor* [2].

В варианте по рис. 5, *б* к выходу УУ параллельно подключены несколько последовательных цепей СД. УУ в этом варианте может быть как источником тока, так и источником напряжения, но в обоих случаях обязательны токоограничивающие элементы *T* – для выравнивания токов между параллельными цепями. При токах до 20 мА для этого используют резисторы. При больших токах целесообразнее использовать линейные стабилизаторы тока (см. ниже).

2.1. Классификация управляющих устройств

Классификация УУ для СД представлена на рис. 6.

2.1.1. Электромагнитные управляющие устройства

Для областей применения, не особенно требовательных к стабильности и уровню пульсаций светового потока, а также к массе УУ, а главные требования – низкая цена и высокая надёжность, целесообразно использовать электромагнитные УУ [3]. Помимо простоты, низкой цены, высокой надёжности и возможности эксплуатации при низких температурах (до –60 °С) электромагнитные УУ экологически чисты, так как по окончании срока службы они практически полностью могут перерабатываться путём переплавки (т.е. с этой точки зрения они просто «склад меди и стали на потолке»), а электронные УУ превращаются в мусор, не поддающийся переработке.

Кроме того, привлекательная сторона электромагнитных УУ – их преемственность по отношению к ЭмПРА для РЛ, имеющим мощную производственную базу.

Электромагнитные УУ выпускаются по двум схемам – индуктивной (рис. 7) и индуктивно-емкостной с расщеплённой фазой (рис. 8).

Индуктивная схема имеет высокий коэффициент мощности (>0,9), но большие пульсации светового потока (коэффициент пульсаций $K_п \approx 100$ %). Для снижения последних применяется схема с расщеплённой фазой, работающая на две группы СД (рис. 8).

Следует отметить, что оптимальные характеристики обе эти схемы имеют при значении коэффициента *m*, определяемого отношением напряжения на цепочке СД к сетевому напряжению, равном 0,67. При этом значении выполняется условие передачи максимальной мощности из сети в нагрузку, пульсации светового потока в схеме с расщеплённой фазой минимальны (25–30 %), а коэффициент стабильности находится на приемлемом уровне (1,5–1,75).

2.1.2. Электронные управляющие устройства

Преимущественное распространение для питания СД получили электронные УУ, представляющие собой, по существу, вторичные источники питания (в соответствии с определением, принятым в преобразовательной технике, это устройства для преобразования входной электроэнергии переменного или постоянного напряжения с целью обеспечения электропитанием нагрузки при заданном виде и качестве электроэнергии на выходе), предназначенные для работы с такой специфической нагрузкой, как СД.

Электронные УУ обладают практически неограниченными функциональными возможностями, позволяющими выполнять все операции по преобразованию энергии, которые необходимы для формирования оптимальных рабочих и регулировочных режимов СД, обеспечения электромагнитной совместимости комплекта с питающей сетью и удовлетворения требований потребителя.

Схемотехника электронных УУ для СД практически не отличается от известной схемотехники вторичных источников питания. Поэтому, с учётом специфики СД, схемотехника этих УУ базируется на достижениях современной преобразовательной техники

В соответствии с приведённой на рис. 6 классификацией рассмотрим наиболее распространённые схемы электронных УУ.

2.1.2.1. Устройства без гальванической развязки

Линейные регуляторы. Представляют собой простейший вид электронных УУ и содержат всего 3 элемента – транзистор, резистивный датчик тока и источник порогового напряжения. Транзистор работает в активном режиме и выполняет роль переменного токоограничивающего резистора. Линейные регуляторы целесообразно использовать в качестве токоограничивающих элементов *T* в цепях СД, подключённых.параллельно к одному выходу устройства питания (рис. 5, *б*). В этом случае они, помимо выравнивания токов между параллельными цепями, выполняют ещё 2 важные функции: увеличивают динамическое сопротивление цепей с СД (т.е. позволяют существенно снижать требования к пульсациям выходного напряжения УУ), а также обеспечивают возможность широтно-импульсного регулирования тока СД при воздействии на их вход соответствующего цифрового сигнала. Такие стабилизаторы разработаны специально для цепей с СД и серийно выпускаются.

Так, фирма *Infineon* выпускает линейные регуляторы серии «*BCR*» на токи от 10 мА до 2 А (с внешним транзистором) и напряжения до 40 В. Внешний вид и электрическая схема одного из изделий этой серии приведены на рис. 9. Основные характеристики этого регулятора – ток до 250 мА, напряжение до 24 В, рассеиваемая мощность до 1 Вт, 6-выводной корпус *SC74*, возможность широтно-импульсного регулирования при подаче на управляющий вход *1* цифрового сигнала с внешнего контроллера *μC*.

Рис. 6. Классификация управляющих устройств для светодиодных источников света

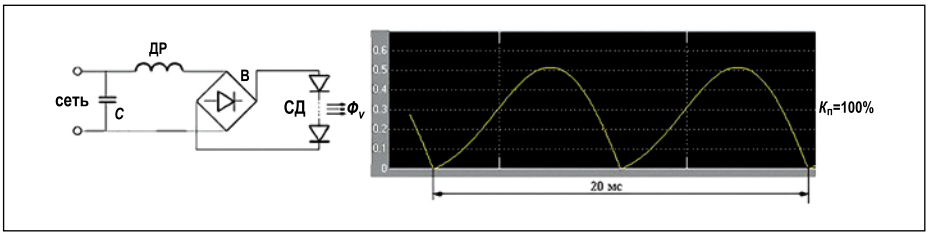


Рис. 7. Индуктивная схема включения светодиодных источников света:
ДР – балластный дроссель, В – выпрямитель, С – компенсирующий конденсатор

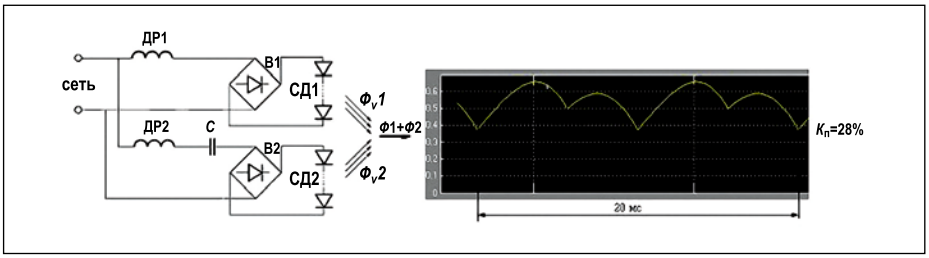


Рис. 8. Схема с расщеплённой фазой

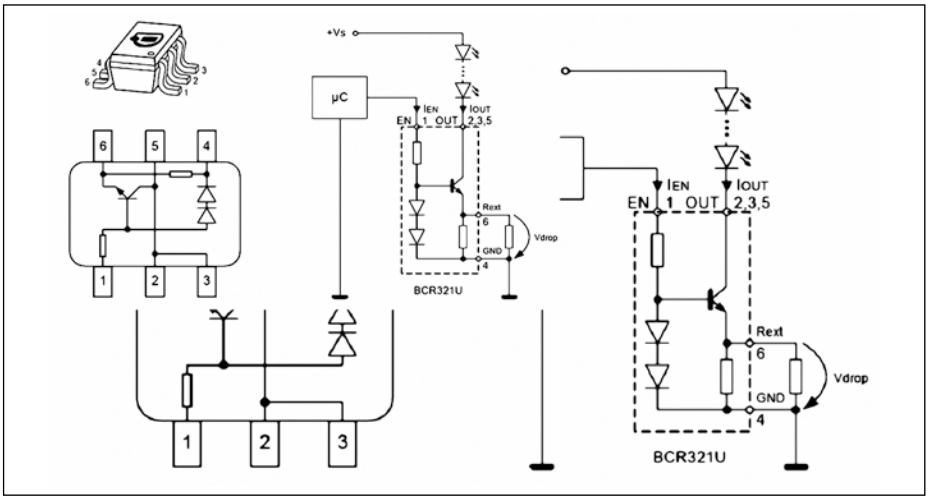


Рис. 9. Линейный регулятор *BCR321U*

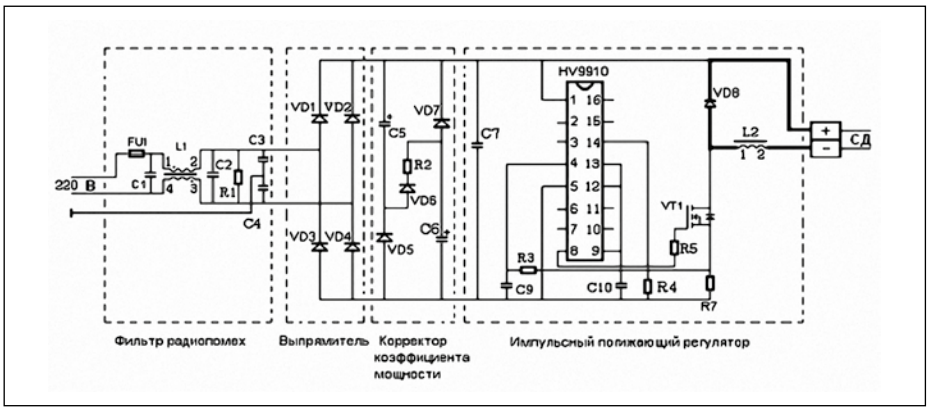


Рис. 10. Типичная схема импульсных понижающих регуляторов

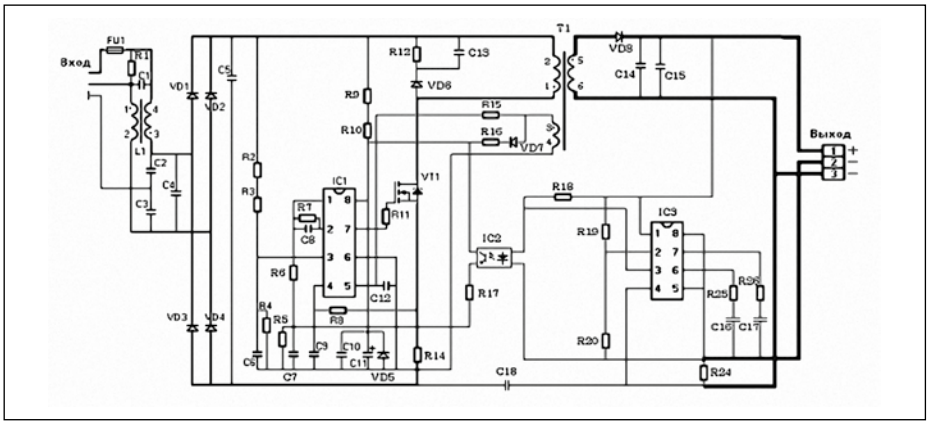


Рис. 11. Электронный ПРА на базе обратноходового преобразователя напряжения

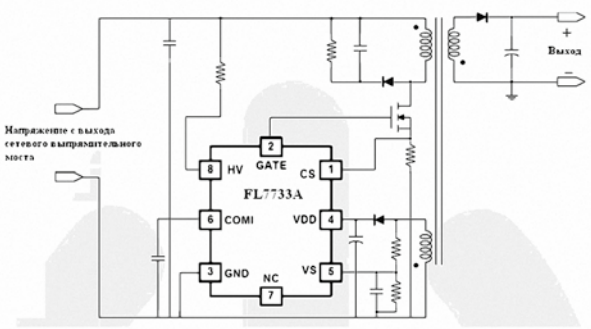


Рис. 12. Схема обратноходового устройства с регулированием по первичной стороне

Импульсные регуляторы. Выполняются на одном транзисторном ключе, компактны, дёшевы и применяются в основном для встраивания в СД лампы прямой замены с резьбовым цоколем.

Схема одного из самых распространённых изделий этой группы, построенная по принципу понижающего регулятора, приведена на рис. 10.

Схема содержит фильтр радиопомех, выпрямитель, пассивный диодно-конденсаторный корректор коэффициента мощности и импульсный понижающий регулятор мощности, выполненный на основе высокоэффективного недорогого ШИМ-контроллера *HV9910* (или *HV9961*) фирмы *Supertex*, способного работать в диапазоне напряжений питания от 8 до 450 В. Постоянство яркости СД осуществляется путём стабилизации выходного тока либо по его пиковому значению (*HV9910*), либо по среднему (*HV9961*). Выходной ток – постоянный с пилообразной высокочастотной пульсацией (20–100 кГц), размах которой задаётся дросселем *L2* и выбирается, как правило, равным 20–40 %. При необходимости пульсации можно снизить до нескольких% подключением параллельно цепочке СД конденсатора.

В качестве ШИМ-контроллера в схемах этого класса могут использоваться и другие микросхемы, например *IRS2540* (фирма *International Rectifier*), а для обеспечения высокого коэффициента мощности и низкого коэффициента гармонических искажений потребляемого из сети тока, может применяться активный корректор коэффициента мощности.

Электронные УУ на базе импульсных регуляторов находят широкое применение с нагрузкой мощностью до нескольких десятков Вт при условии, что не требуется гальваническая развязка между их входом и выходом. Если такая развязка требуется, то применяют УУ другой группы (рис. 5), построенные на базе однотактных или двухтактных преобразователей напряжения.

2.1.2.2. Электронные устройства с гальваническим разделением входа и выхода

Отличительной особенностью этих УУ является наличие трансформатора, обеспечивающего гальваническую развязку входа и выхода.

До мощностей 50–80 Вт применяют однотактные схемы (фирма *NXP Semiconductors* считает верхним пределом мощности аппаратов этой группы 250 Вт), а при более высоких мощностях – двухтактные (полумостовые и мостовые).

Одно из наиболее распространённых изделий этой группы – устройство на базе обратноходового преобразователя напряжения, пример схемы которого приведён на рис. 11[4]. Схема содержит фильтр радиопомех, выпрямитель и обратноходовой преобразователь напряжения, управляемый контроллером коэффициента мощности *IC1*. Эта недорогая 8-выводная микросхема (*TDA4853,* фирмы *Infineon*) выполняет одновременно 2 важные функции: во-первых, обеспечивает высокий коэффициент мощности и низкий уровень гармонических искажений входного тока, и, во-вторых – в зависимости от вида обратной связи (по напряжению или току нагрузки) – позволяет формировать любую выходную характеристику, благодаря чему УУ может быть как источником тока, так и источником напряжения. Для выполнения второй функции в схему дополнительно введены регулятор тока-на-

пряжения *IC3* (микросхема *TLE4305,* фирмы *Infineon*) и развязывающий оптотранзистор *IC2*. Сигнал, пропорциональный выходному напряжению, подаётся на вход регулятора *IC3* с делителя напряжения *R19–R20*, а пропорциональный выходному току – с резистивного датчика тока *R24*. При подключении нагрузки к выходным клеммам 1 и 3 аппарат является стабилизатором напряжения, а при подключении к клеммам 1 и 2 – стабилизатором тока.

Привлекательность этого устройства – в относительной простоте и дешевизне, поскольку оно содержит всего один силовой ключ *VT1* и один моточный элемент *T1* (не считая дросселя фильтра радиопомех), выполняющий одновременно функции накопительного дросселя и трансформатора. Поэтому по такой же схеме выпускают УУ и многие другие фирмы. Различия между ними заключаются только в типе микросхем. Так, в качестве контроллера коэффициента мощности *Texas Instruments* применила микросхему *UCC28810*, *STMicroelectronics* – микросхему *L6562A/AT*, *ON Semiconductor* – микросхему *NCL30000*, а *NXP Semiconductors – SSL1750*.

Ввиду широкого распространения УУ этой группы постоянно совершенствуются. Для этого, например, фирма *Fairchild* выпустила (несколько лет назад) контроллер *FL7733A*, управляющий работой обратноходового преобразователя на основе сигналов обратной связи, снимаемых с элементов первичной стороны схемы. Благодаря отказу от применения оптронов, ранее используемых для передачи данных по току и напряжению на СД, снимаемых с датчиков на вторичной стороне схемы, схема УУ упрощается и удешевляется (рис. 12) [5].

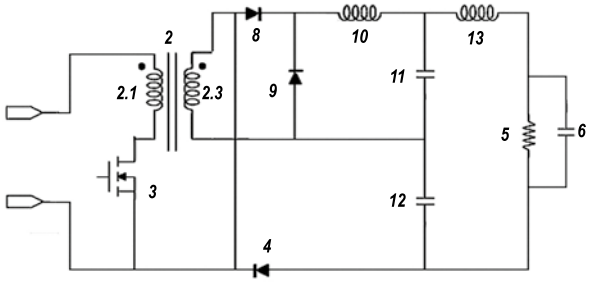


Рис. 13. Функциональная схема преобразователя с совмещением прямого и обратного ходов

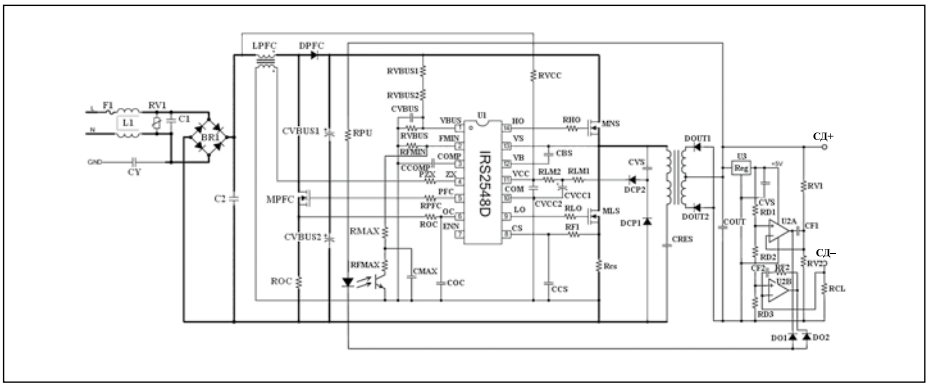


Рис. 14. Схема управляющего устройства на базе двухтактного преобразователя напряжения

Прямоходовые устройства. Получили меньшее распространение из-за наличия обмотки размагничивания, что приводит к усложнению трансформатора и повышению общей стоимости.

Существуют многочисленные попытки объединить прямоходовую и обратноходовую схемы, в которых во время прямого хода осуществляется трансформация энергии в выходную цепь, а во время обратного – вывод в ту же цепь энергии, накопленной в трансформаторе. В статье [6] опубликована соответствующая функциональная схема (рис. 13), разработанная в результате одной из таких попыток. В ней диоды *8–9*, дроссель *10* и конденсатор *11* образуют схему прямого хода, а диод *4* и конденсатор *12* – схему обратного хода. Экспериментальные испытания этой схемы показали, что по сравнению со схемой обратноходового преобразователя напряжение на транзисторе уменьшается в 1,3 раза, а нагрев трансформатора – на 10–12 %.

Для УУ на мощности более 80–100 Вт рекомендуются схемы двухтактных преобразователей напряжения. Так, на основе двухтактных преобразователей напряжения фирма *Infineon* предлагает выполнять УУ для уличных светильников с СД

Таблица 4

Динамика развития рынка источников света в РФ (производство и импорт), млн шт.

Вид источника света	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ЛЛ	121	88,5	80	64	38	29(19)	22(10)	16(5)
КЛЛ	124	106	58	37	18	4	3	2
«ДРЛ»	9	6	2,5	1,5	0,5	0,3	0,2	0,1
НЛВД	2,4	2,2	1,4	1	0,8	0,6	0,4	0,2(0,1)
МГЛ	1,5	1,4	1	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2
СД	54	124	99	123	168	209(309)	240(375)	265(421)

Примечание: в скобках – значения, предусмотренные обсуждаемым в настоящее время комплексом мер по техническому регулированию рынка источников света в странах-участницах Евразийского экономического союза.

мощностью свыше 100 Вт. Вариант схемы таких устройств (рис. 14) [7] содержит фильтр радиопомех *L*, выпрямитель *BR1*, полумостовой инвертор на транзисторах *MHS* и *MLS*, согласующий разделительный трансформатор *T*, выходной выпрямитель и блок обратной связи по току и напряжению. УУ этой группы имеют высокий КПД и практически не ограничены по верхнему пределу мощности.

3. Перспективы ПРА и управляющих устройств

Главное условие, определяющее перспективы развития ПРА и УУ – состояние рынка источников света. Динамика развития последнего в РФ приведена в табл. 4 [8]. Из таблицы следует, что по сравнению с 2013 г. производство РЛ сократится в 10–100 раз, а производство СД, наоборот, увеличится в 5–8 раз. В связи с этим новые разработки ЭмПРА и ЭПРА для РЛ практически не ведутся. Но, с учётом большого уже имеющегося парка РЛ, выпуски этих аппаратов, особенно для НЛВД и МГЛ, по-прежнему высоки и такая ситуация сохранится ещё довольно долго, особенно в области уличного и тепличного освещения. Существенный спад производства коснулся только ЭмПРА для ЛЛ, встраиваемых ЭПРА для КЛЛ (из-за вытеснения последних СД лампами прямой замены с резьбовым цоколем) и ЭмПРА для ламп «ДРЛ», заменяемых на НЛВД.

В отличие от ПРА для РЛ УУ для СД находятся на пике своего развития. Основными направлениями работ в этом направлении можно считать следующие:

- Разработка УУ в соответствии с классификацией по рис. 6.
- Использование в разработках новых современных комплектующих: высокоэффективных полупроводниковых приборов на основе карбида кремния, арсенида галлия и др., специализированных интегральных микросхем, планарных ВЧ трансформаторов и дросселей, керамических и плёночных конденсаторов (взамен электролитических).
- Ввиду широкого использования регулируемых систем освещения оснащение УУ аналоговыми или цифровыми интерфейсами для взаимодействия с этими системами.

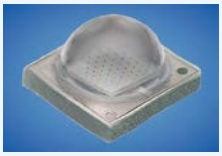
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варфоломеев Л.П.* Элементарная светотехника. – М.: Знак, 2008. – 220 с.
2. *Звонарёв Е.* NUD4700 – недорогое решение для повышения надёжности светодиодных осветительных приборов // Новости электроники. – 2010. – № 10. – С. 29–30.
3. *Георгобиани С.А., Горев Л.В., Клыков М.Е., Коваленко Е.А.* Электромагнитные ПРА для светодиодов // Светотехника. –2013. – № 4. – С. 56–60.
4. 40 W LED Street and Indoor lighting demonstration board, 2010. URL: http:// www.infineon.com (дата обращения: 12.2016).
5. Design a High Power Factor Flyback Converter Using FL7733A for an LED Driver with Ultra-Wide Output Voltage, 2014. URL: https://www.fairchildsemi.com (дата обращения: 12.2016).
6. *Титков С.* Новый тип импульсного преобразователя // Современная светотехника. – 2016. – № 4. – С. 16–18. URL: http://setilumen.ru/page62.html (дата обращения: 12.2016).
7. *Соломатин М., Автушенков К.* Решения компании International Rectifier для систем светодиодного освещения // Современная светотехника. – 2013. – № 5. – С. 58–64.
8. *Вагин Г.Я., Малафеев О.Ю., Мартынюк М.В.* Исследование парка источников света, оценка электропотребления и потенциала экономии электроэнергии в системах освещения России // Светотехника. – 2016. – № 3. – С. 12–21.

Клыков Михаил Евгеньевич, *кандидат техн. наук. Окончил в 1963 г. МЭИ. Главный специалист ООО «ВНИСИ». Занимается разработкой ПРА и управляющих устройств, соответственно, для разрядных и светодиодных источников света*

Агафонова Татьяна Андреевна, *инженер. Окончила в 1973 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Научный сотрудник ФГБУН «ВИНИТИ РАН». Занимается выпуском реферативной информации по светотехнике, ИК технике и силовой преобразовательной технике*

Самый яркий и энергоэффективный из выпускаемых синий светодиод



Компания *Cree* представила новый синий СД *XLamp® XP-G3 Royal Blue LED*, который по своим характеристикам превосходит все другие промышленно выпускаемые синие СД. Новый синий СД, на платформе *XP-G3*, имеет поток излучения, вдвое больший по сравнению с аналогичными СД тех же размеров, и рекордный, до 81 %, КПД преобразования электрической энергии в оптическую. Он расширяет портфолио мощных СД компании *Cree*, позволяя производителям светотехнического оборудования предлагать дифференцированные решения для разных областей применения, таких как растениеводство, архитектура и индустрия развлечений.

Используя новый СД *XP-G3 Royal Blue* и недавно появившийся высокоэффективный красный СД *XP-E High Efficiency Photo Red*, компания *Cree* создала новый базовый облучатель для растениеводства с эффективностью в области ФАР до 3,2 мкмоль/Дж, что более чем в 1,5 раза выше, чем у ныне используемых облучателей с НЛВД. При максимальном токе 2 А и температуре *p–n*-перехода 85 °С СД *XP-G3 Royal Blue* имеет поток излучения до 3402 мВт, что соответствует фотосинтетическому потоку фотонов 13 мкмоль/с.

«Наше новое оптимизированное для сельского хозяйства изделие поможет производителям осветительного оборудования добиться массового использования сельскохозяйственных установок с СД, – сказал первый вице-президент и генеральный директор компании *Cree*. – Мощные СД компании обеспечивают наилучшее сочетание потока фотонов, эффективности и надёжности, позволяющее заменить устаревшие облучатели с НЛВД на облучатели с СД, что приведёт к минимизации энергопотребления и максимизации урожайности».

СД *XP-G3 Royal Blue* создан по керамической технологии мощных СД *Cree*, которая обеспечивает прекрасный срок службы даже при экстремальной температуре *p–n*-перехода в 105 °С. Кроме того, производители облучателей для растениеводства смогут незамедлительно воспользоваться существующими устройствами управления и оптикой, успешно работающими с другими 3,45-мм изделиями на платформе *XP* компании *Cree*, что ускорит выход их продукции на рынок.

Сегодня уже имеются промышленные образцы новых СД *XP-G3 Royal Blue*, и их массовые поставки возможны в пределах стандартного времени выполнения заказа.

www.led-professional.com
01.05.2017

Оценка качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости

В.П. БУДАК, В.С. ЖЕЛТОВ, Т.В. МЕШКОВА, Р.Ш. НОТФУЛЛИН
НИУ «МЭИ», г. Москва
E-mail: budakvp@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается новый подход к формулированию критерия качества освещения на основе анализа пространственно-углового распределения яркости и свойств зрения человека. В рамках работы создана исследовательская установка для определения зон комфорта и дискомфорта, неразрывно связанных с качеством освещения. Показана возможность компьютерного моделирования пространственно-углового распределения яркости на основе локальных оценок метода Монте-Карло, что позволяет в перспективе перейти от моделирования на заданное распределение освещённости к моделированию на заданное качество.

Ключевые слова: локальные оценки метода Монте-Карло, пространственно-угловое распределение яркости, дискомфорт, критерий качества освещения.

1. Введение

Развитие вычислительной техники и методов математического моделирования совершило подлинную революцию в проектировании осветительных установок (ОУ). В конце прошлого и начале текущего века удалось перейти от изнуряющих инженерных расчётов к компьютерному моделированию ОУ. Это позволило не только проектировать на заданные количественные нормируемые показатели, но и увидеть «фотореалистичную» картину ещё не существующей установки. И если сегодня задачу проектирования ОУ на заданные количественные характеристики можно считать в целом решённой, то задача проектирования на заданные качественные характеристики только ставится перед светотехническим сообществом. Мало того, сформулированные на сегодняшний день качественные характеристики обладают существенными недостатками. Фактически, в реальной инженерной практике, вопрос качественных показателей выражен лишь в расчёте объединённого показателя дискомфорта *UGR*. Если на заре развития методов и программных средств моделирования ОУ такая ситуация была закономерна, то с появлением новых методов [1] моделирования уравнения глобального освещения (УГО) [2] появляется принципиально новая возможность не просто расчёта распределения освещённости в диффузном приближении, а получения пространственно-углового распределения яркости. Это позволяет вновь поставить вопрос о показателях качества освещения и проектировании ОУ на заданные качественные показатели.

Рис. 1. Пример визуализации пространственно-углового распределения яркости локальными оценками метода Монте-Карло для эталонной сцены *Cornell Boxes*

2. Моделирование пространственно-углового распределения яркости локальными оценками метода Монте-Карло

Современная светотехническая практика и нормируемые характеристики исходят из возможности моделирования освещённости с учётом многократных отражений и возможности моделирования яркости только для прямого света без учёта отражений. Исходя из этого, только в наружном освещении – архитектурном и дорожном – нормируется истинная воспринимаемая глазом человека характеристика – яркость. Отметим, что общепринятые в проектировании ОУ программы *DIALux* и *Relux* моделируют распределение освещённости в диффузном приближении. При таком подходе методом конечных элементов моделируется уравнение излучательности [9], которое является следствием УГО [2] в диффузном приближении.

УГО представляет собой интегральное уравнение второго рода

$$L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) = L_0(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) + \frac{1}{\pi}\int L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}')\sigma(\mathbf{r};\hat{\mathbf{l}},\hat{\mathbf{l}}')\left|(\hat{\mathbf{N}},\hat{\mathbf{l}}')\right| d\hat{\mathbf{l}}', \qquad (1)$$

где $L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})$ – яркость в точке $\mathbf{r}$ по направлению $\hat{\mathbf{l}}$, $\sigma(\mathbf{r};\hat{\mathbf{l}},\hat{\mathbf{l}}')$ – двунаправленная функция отражения (отражения или пропускания), L_0 – прямая компонента яркости, непосредственно от источников, $\hat{\mathbf{N}}$ – нормаль в точке $\mathbf{r}$ к элементу поверхности сцены.

Отметим, что в настоящее время появился новый программный продукт *DIALux Evo*, в основе которого лежит моделирование УГО на основе фотонных карт [10], что позволяет моделировать пространственно-угловое распределение яркости. Однако *DIALux Evo* на данный момент ещё не нашёл своего места в инженерной практике.

В рамках этой работы предлагается применить локальные оценки метода Монте-Карло к решению УГО. Метод локальных оценок берёт своё начало в атомной физике [11] и получил дальнейшее развитие в оптике атмосферы и океана [12]. УГО может быть записано в виде интеграла по пространству и разложено в ряд Неймана, каждый член которого представляет собой определённый многократный интеграл по пространству, который можно приближённо представить в виде квадратуры по случайным узлам – метод Монте-Карло. После ряда преобразований полученное разложение может быть записано в виде [1]:

$$L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) = L_0(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) + \\ + \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{\pi}\frac{L_0(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i})}{p_1(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i})}\frac{\sigma(\mathbf{r};\hat{\mathbf{l}}_{1i},\hat{\mathbf{l}})G(\mathbf{r}_1,\mathbf{r})}{p_2(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i}\to\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})} + \right. \\ + \frac{1}{\pi^2}\frac{L_0(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i})}{p_1(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i})}\frac{\sigma(\mathbf{r}_{2i};\hat{\mathbf{l}}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{2i})G(\mathbf{r}_{1i},\mathbf{r}_{2i})}{p_2(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i}\to\mathbf{r}_{2i},\hat{\mathbf{l}}_{2i})}\times \\ \left.\times\frac{\sigma(\mathbf{r};\hat{\mathbf{l}}_{2i},\hat{\mathbf{l}})G(\mathbf{r}_{2i},\mathbf{r})}{p_2(\mathbf{r}_{2i},\hat{\mathbf{l}}_{2i}\to\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})}+\ldots\right), \qquad (2)$$

где $p_1(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i})$, $p_2(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i}\to\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})$ – начальная и переходная плотности вероятности, определяющие положение случайных узлов [12].

Поскольку $p_2(\mathbf{r}_{1i},\hat{\mathbf{l}}_{1i}\to\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})$ определяется только двумя последовательными случайными узлами, то выражение может быть интерпретировано как марковская цепь. В результате построения марковской цепи можно на каждом её акте оценивать ядро перехода для исследуемых точек $\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}$. Накапливая статистику, получим непосредственно яркость в заданных точках по заданным направлениям [1]. Такая оценка может быть названа локальной оценкой по аналогии с оценками в атмосферной оптике [12].

Сформулируем алгоритм локальной оценки. На первом этапе в сцене фиксируют исследуемые точки и направления $\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}$. После чего случайным образом определяют источник света и произвольное направление выхода луча из источника. Наиболее эффективной будет выборка источника с вероятностью, пропорциональной его световому потоку, и выбор направления в соответствии с распределением яркости источника или кривой силы света. После этого полученный луч трассируется до пересечения с объектом. Далее для каждой из исследуемых точек вычисляется ядро УГО и начинает накапливаться статистика. Накопив статистику, усреднив и нормировав, получаем непосредственно яркость в заданных точках по заданным направлениям. При этом в данном методе может быть использована диффузно-направленная модель отражения, например, модель Фонга [13].

Впервые алгоритм, сходный локальным оценкам, был сформулирован в [14] применительно к визуализации в компьютерной графике в феменологическом подходе и получил название *Instant Radiosity*. Отсутствие строгого математического обоснования алгоритма для компьютерной графики в большинстве случаев не является недостатком, так как основная цель при этом – «фотореалистичная» визуализация, а не получение точных значений яркости. В светотехнике же ситуация иная: тут важно иметь несмещённые значения яркости для её анализа. Предложенный в [14] алгоритм, восходит к [11], а его математическое обоснование даётся в [1]. На рис. 1 приведён пример расчёта распределения яркости в эталонной сцене *Cornell Boxes*. Таким образом, локальные оценки позволяют моделировать непосредственно яркость в заданной точке и в заданном направлении.

Зная распределения яркости в каждой точки сцены освещения, можно вычислить любую характеристику светового поля. Наибольший интерес представляет расчёт некоторой величины, характеризующей качество освещения по заданному уровню зрительной работы и соответствующей заложенным идеям светового дизайна освещения сцены. Формулировка такого критерия позволила бы автоматизировать оптимизацию расчёта осветительной установки. Причём лучше, если программа подскажет набор оптимальных схем освещения, оставляя окончательный выбор за дизайнером световой среды в сцене.

2. Критерий качества освещения

Результаты наших исследований позволяют выделить следующие факторы, влияющие на зрительный дискомфорт, а соответственно, и на качество освещения в целом:

- пространственно-угловое распределение яркости;
- зрительная адаптация;
- спектральный состав излучения источников света;
- время экспозиции.

Из экспериментов следует, что наибольший вклад вносят первые два фактора, тогда как влияние спектрального состава излучения источников света и времени экспозиции требует отдельных исследований.

В современной редакции словаря Международной комиссии по освещению нет определения качества освещения, поэтому сформулируем его самостоятельно: *освещение можно считать качественным, если оно способствует повышению зрительной работоспособности человека и не препятствует в решении задач, поставленных в рамках той или иной сцены освещения*.

На сегодняшний день нормируются количественные характеристики освещения, как правило, в виде одного числа. В идеальной ситуации и качественные характеристики должны нормироваться в виде отдельных чисел. В рамках этой работы, была поставлена цель сформулировать оценку качества освещения в виде одного интегрального значения для произвольной сцены освещения с известным распределением яркости для каждой точки пространства в каждом направлении.

На дискомфорт влияет отношение яркости источника к яркости фона [6] – контраст. При этом существует некоторый порог контраста, при превышении которого возникает ощущение дискомфорта. На наш взгляд, отношение контраста к пороговому и может служить критерием качества освещения. В случае непрерывного пространственно-углового распределения яркости по сцене освещения естественным обобщением контраста является отношение градиента распределения яркости по полю наблюдения к средней по полю яркости. С увеличением значения градиента граница между блёским источником и фоном будет становиться более очерченной, а качество освещения, соответственно, уменьшаться. Далее можно предположить, что направление изменения яркости не влияет на качество освещения, а потому включаем в расчёт абсо-

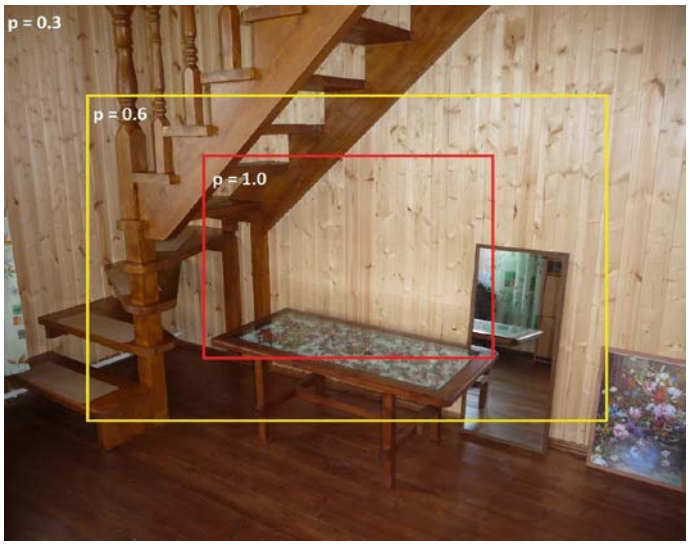


Рис. 2. Пример задания весового коэффициента *p* для разных полей зрения

лютное значение градиента. Выбрав точку пространства внутри сцены (помещения) и направление наблюдения, можно определить обобщённый контраст в точке сцены:

$$K(x,y)=\frac{\left|\mathrm{grad}L(x,y)\right|}{\bar{L}},$$
$$\bar{L}=\frac{1}{A}\int_{(A)}L(x,y)p(x,y)dxdy,\quad A=\int_{(A)}dxdy, \tag{3}$$

где x, y – координаты точки на проекции сцены, L – яркость в данной точке в направлении наблюдения, $\bar{L}$ – средняя по полю зрения яркость, $p(x, y)$ – некоторая весовая функция, учитывающая различный вклад в реакцию глаз точек, расположенных в центре поля зрения и на периферии, так как плотность колбочек набольшая у зрительной оси [7].

Координаты x, y в синтезированном изображении однозначно связаны с направлением визирования $\hat{\mathbf{l}}$ для пространственно-углового распределения яркости $L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})$ из (1) при задании точки визирования сцены или, что аналогично, видовой точки в светодизайне, и фокуса камеры визуализации сцены. В этом смысле A можно трактовать как площадь кадра визуализации или как телесный угол поля зрения камеры.

Распределение колбочек по сетчатке можно считать пропорциональным $1/\theta^2$, где θ– угол визирования [8]. Соответственно, вводимая функция p или должна быть пропорциональна этой величине, или может быть задана таблично, например, как показано на рис. 2.

В качестве критерия качества освещения Q возьмём средневзвешенный по полю обобщённый контраст $K(x, y)$ (уравнение (3)):

$$Q=\frac{1}{AK_{пор}}\int K(x,y)p(x,y)dxdy, \tag{4}$$

где $K_{пор}$ – пороговое значение контраста.

Отметим, что в большинстве практических светотехнических задач нас интересует освещение не всей сцены, а только некоторых её частей. Так, во внутреннем освещении нормируется освещённость на рабочих поверхностях, а не в проходах. При освещении спортивной площадки в первую очередь стоит вопрос освещения игрового поля. Более того, часто проектировщик формирует зоны акцентирующего освещения для создания некоторого светового ритма в освещении сцены. Таким образом, необходимо ввести ещё один дополнительный весовой коэффициент h ($0 \leqslant h(x, y) \leqslant 1$), учитывающий светотехническую задачу, причём он равен 1 в рабочей зоне и 0 для точек, несущественных для качества освещения. Выбор значений коэффициента $h(x, y)$ соответствует алгоритмам нечёткой логики [15]. Пример задания коэффициента $h(x, y)$ схематически показан на рис. 3.

Теперь выражение (4) для расчёта критерия качества примет вид:

$$Q=\frac{1}{AK_{пор}}\int K(x,y)p(x,y)h(x,y)dxdy. \tag{5}$$

Полученное выражение можно использовать для осуществляемой с помощью программных средств оценки качества освещения одним числом в случае, если известно распределение яркости для всех точек сцены в любом направлении. Отметим, что критерий, несомненно, нуждается в экспериментальной поверке, однако, на наш взгляд, нет необходимости его сверхточного определения: во-первых, разброс зрительного восприятия достигает десятков процентов и во-вторых, этот критерий нужен только для оптимизации выбора расчётной схемы освещения, оставляя окончательное решение за светодизайнером.

3. Экспериментальное определение дискомфортной яркости на границе комфорт-дискомфорт

Качественные показатели освещения неразрывно связаны с наблюдателем, определяющим ощущение комфорта или дискомфорта. Причём оценка со стороны наблюдателя является субъективной и может варьироваться от наблюдателя к наблюдателю в очень широких пределах. Под дискомфортной блёскостью принято понимать неприятные ощущения при неравномерном распределении или высоком уровне яркости в поле зрения $L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}})$. Явление блёскости затрудняет считывание показаний приборов

Рис. 3. Пример определения весового коэффициента *h*, учитывающего светотехническую задачу

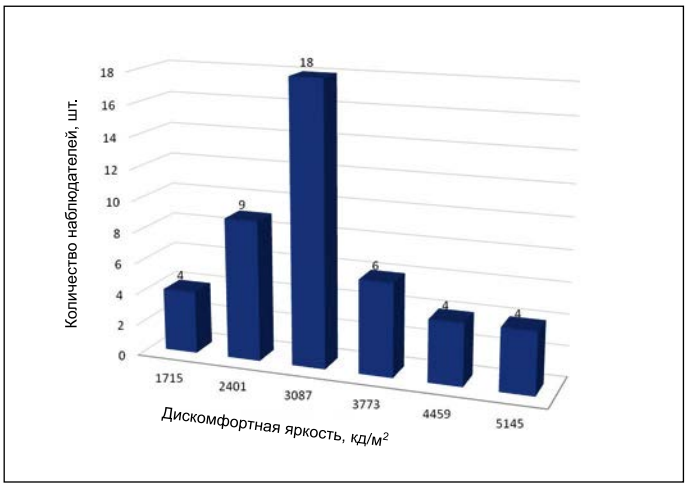


Рис. 4. Распределение значений яркости ГКД («*standard BCD brightness*»)

и индикаторов, ухудшает видимость наблюдаемых предметов, вызывает преждевременное утомление зрительного анализатора. В этом смысле введённый критерий Q позволяет оценивать дискомфорт освещения в сцене с фиксированной видовой точки, но для его определения необходимо исследование пороговых характеристик глаза $K_{пор}$.

В рамках этой работы, на кафедре «Светотехники» НИУ «МЭИ» было проведено исследование по оценке ощущения дискомфорта от блёского источника в поле зрения наблюдателя. За основу эксперимента был взят эксперимент Лекиша и Гута [3] 1949 года по нахождению граничного значения дискомфортной блёскости, в ходе которого были выявлены зависимости этого параметра от основных факторов.

В эксперименте Лекиша и Гута расширенное поле зрения равномерной яркости было смоделировано с помощью двух третей 80-дюймовой (2м) фотометрической сферы с лампой, расположенной недалеко от центра, чтобы обеспечить равномерное поле освещённости. Источники света были расположены за круглыми отверстиями в поверхности сферы, предусмотренными для источников яркого света. Наблюдатель помещался в центре сферы на стуле, так что его голова находилась точно в центре сферы.

Оценка ощущения блёскости производилась при кратковременном появлении источника в поле зрения наблюдателя при условии равномерного распределения яркости фона. При этом яркость фона принималась равной яркости адаптации. Эксперимент включал в себя циклы из трёх односекундных периодов «включено» с равными 1 с промежутками между ними с последующей пятисекундной паузой между циклами. Наблюдатели сами определяли количество циклов эксперимента, достаточное для оценки яркости в поле зрения на границе комфортной и дискомфортной блескости (ГКД) (*Brightness in the Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort* (*BCD*)). Всего в эксперименте участвовало пятьдесят наблюдателей, которые регулировали исходную яркость для определения собственного критерия ГКД.

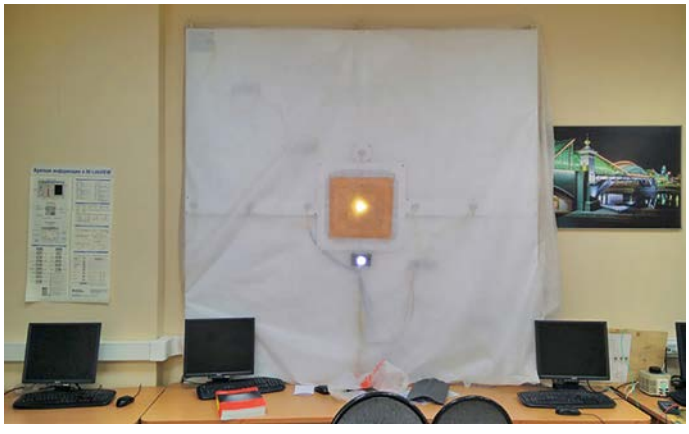


Рис. 5. Экспериментальная установка.

Для определения зависимостей граничного значения дискомфортной блёскости от основных факторов Лекишем и Гутом была проведена ещё одна серия экспериментов. В этой серии варьировались значения яркости фона (1, 10 и 100 фут-ламбертов (1 фут-ламберт = 10,764 лк)), угловой размер источника света (в диапазоне от 0,0001 до 0,126 ср), и положение источника света (в диапазоне от 0 до 100° относительно линии зрения по вертикали, горизонтали и диагонали). В этих экспериментах участвовали только десять наблюдателей. Также была исследована зависимость яркости ГКД от размера, расположения и количества блёских источников в поле зрения наблюдателя.

По результатам эксперимента Лекиша и Гута, значение яркости ГКД при яркости адаптации 31,4 кд/м^2 и диаметре источника света 3,76 см равно 3103 кд/м^2. Источник света располагался на линии зрения наблюдателя на расстоянии 1 м от наблюдателя. На рис. 4 приведено распределение значений яркости ГКД в зависимости от количества наблюдателей.

В современном мире энергосбережения и энергоэффективности основными источниками света становятся светодиоды и осветительные приборы на их основе. Освещение светодиодами (СД) применяется повсеместно, и дискомфорт от блёских источников света малого размера является актуальной проблемой [4]. Кроме того, малый размер и различные оптические характеристики СД и СД матриц позволяют смоделировать блёский источник света любых размера и формы, имитируя блики на рабочем столе или слепящие фары встречного автомобиля.

Для современного исследования яркости ГКД на кафедре светотехники МЭИ была создана экспериментальная установка. Основой для установки послужил металлический лист, покрашенный белой порошковой краской, на котором смонтированы платы с различной конфигурацией расположения СД. В центре листа расположена круглая плата с тремя СД мощностью 0,3 Вт, вокруг которой смонтированы прямоугольные платы, имитирующие блёский источник света большего размера. Цветовая температура установленных СД равна 5000 К. Включение плат в различных режимах осуществляется с блока управления, с помощью которого можно регулировать световые потоки источников света. Экспериментальная установка расположена на высоте 0,75 м от пола так, чтобы центральная плата была на уровне глаз наблюдателя. Экспериментальная установка показана на рис. 5.

По мере составления и отработки экспериментальной методики была выявлена необходимость установки матовой ткани для большего рассеяния света. Для изменения цветности в сторону более низкой цветовой температуры был установлен фильтр *LEE FILTERS204 FULL C.T.*

ORANGE, а для моделирования одного источника света диаметром 3,76 см был применён диффузионный светофильтр. Общее освещение, а соответственно, и яркость фона в помещении, создаётся с помощью 6 регулируемых встроенных светильников с СД. Управление установкой осуществляется с помощью тумблеров, для каждого источника света (составного или единичного) предусмотрен свой переключатель. Калибровка экспериментальной установки была произведена с помощью яркомера *Konika Minolta LS-110*.

За основу шкалы дискомфорта были приняты пять основных критериев Хопкинсона [5]: заметно, приемлемо, дискомфортно, неудобно и невыносимо. В процессе обучения методике определения ощущений было выявлено, что интерпретация для испытуемых неочевидна, и некоторые критерии определяются как диапазон значений яркости. Поэтому после перебора различных шкал, подбора оптимальных общепонятных определений каждого из критериев в совокупности с проведением зрительной работы во время эксперимента была выбрана следующая шкала дискомфорта: едва заметно; безразлично; приемлемо; дискомфортно; неудобно; невыносимо.

Яркость блёского источника регулировалась сначала экспериментатором, затем испытуемым с помощью встроенного светорегулятора. Результаты эксперимента при регулировании яркости самими наблюдателями имели меньший разброс значений по сравнению с тем, когда регулировка осуществлялась экспериментатором.

В силу отсутствия возможности регулирования общего освещения в классной комнате от 0 до 100 %, при проведении эксперимента яркость фона (адаптации) составляла 75 кд/м^2. Наблюдатель располагался на стуле перед установкой на расстоянии 1 м от неё. Всего было получено 63 ответа для каждого из критериев. По результатам экспериментов было получено значение дискомфортной яркости 3350 кд/м^2, отличающееся от значения, полученного Лекишем и Гутом на 300 кд/м^2 в большую сторону.

Такая разница в значениях яркости ГКД получилась ввиду технических ограничений, из-за которых невозможно полностью воспроизвести условия эксперимента Лекиша и Гута в экспериментальном окружении существующей установки. Основными причинами расхождения результатов явились:

- яркость фона в установке МЭИ была почти в два раза выше заявленной в эксперименте Лекиша и Гута, 75 и 34 кд/м^2 соответственно;
- предполагаемая цветовая температура тепловых источников света, используемых в эксперименте Лекиша и Гута (2700–3000 К), значительно отличается от цветовой температуры СД, используемых в установке МЭИ (5000 К);
- в установке Лекиша и Гута использовался один тестовый источник света, а в установке МЭИ источники света разных размеров формируются с помощью различной компоновки единичных СД.

На основании проведённого эксперимента, нам удалось установить, что на значение яркости ГКД оказывает влияние цветность излучения. Также яркость ГКД зависит от количества и формы блёских источников света в поле зрения наблюдателя. В первичном опыте три СД сливались в один (диаметр источника света = 3,76 см) лишь при высоких значениях яркости, соответствующих болезненным («невыносимым») ощущениям, и при определении яркости ГКД могли не восприниматься глазом как источник, эквивалентный одному источнику света большего диаметра.

После проведения модификаций экспериментальной установки в соответствии результатами выполненных исследований, все зависимости ГКД качественно совпали с результатами Лекиша и Гута, что доказывает верность разработанной методики. Численного совпадения, на наш взгляд, добиться невозможно: как следует из описания результатов измерений, для этого надо полностью повторить их установку, но в этом и нет необходимости. Они проводили все измерения с лампой накаливания, а у нас были СД, что более актуально для настоящего времени.

Заключение

В этой работе предложен новый комплексный подход к исследованию и определению нового критерия качества освещения, основанного на пространственно-угловом распределении яркости. Переход от проектирования на заданное распределение освещённости к проектированию на заданное качество – это на сегодняшний день уже явная тенденция. Подобный переход стал возможным благодаря развитию вычислительной техники и математических методов моделирования УГО. При этом формулирование нового критерия качества немыслимо без экспериментальных исследований из-за отсутствия физически адекватной модели восприятия яркости глазом человека.

В рамках этой работы был предложен и реализован алгоритм расчёта пространственно-углового распределения яркости с учётом многократных зеркальных отражений, что существенно при определении дискомфорта в сцене освещения, была создана экспериментальная установка для исследования дискомфорта и были повторены эксперименты, проведённые Лекишем и Гутом. Предложенный подход к формулированию критерия качества на основе интегральной оценки пространственно-углового распределения яркости является хорошей отправной точкой для создания программного комплекса проектирования ОУ на заданное качество освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Budak, V., Zheltov, V., Notfulin, R., Chembaev, V.* Relation of Instant Radiosity Method with Local Estimations of Monte Carlo Method // WSCG. – 2016. – P. 189–197.
2. *Kajiya, J.T.* The rendering equation // Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'86). – 1986. – Vol. 20, No. 4. – P. 143–150.
3. *Luckiesh, M., Guth, S.K.* Brightness in the visual field at borderline between comfort and discomfort // Illuminating Engineering. – 1949. – Vol .44, No. 11. – P. 650–670.
4. *ван Боммель, В.* Светотехника завтра: что самое «жгучее»? // Светотехника. – 2010. – № 4. – С. 35–38.
5. *Hopkinson, R.G.* Evaluation of Glare // Illuminating Engineering. – 1957. – Vol. 52, No. 6. – P. 305–321.
6. *Scheir, G.H., Hanselaer, P., Bracke, P., Deconinck, G., Ryckaert, W.* Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources // Building and Environment. – 2015. – Vol. 84. – P. 60–67.

7. *Lombardo, M., Lombardo, G., Lomoriello, D.S., Ducoli, P., Stirpe, M., Serrao, S.* Interocular symmetry of parafoveal photoreceptor cone density distribution // Retina. – 2013. – Vol. 33, No.8. – P. 1640–1649.

8. *Larson, G.W. et al.* A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. – 1997. – Vol. 3, No. 4. – P. 291–306.

9. *Goral, C., Torrance, K.E., Greenberg, D.P., Battaile, B.* Modeling the interaction of light between diffuse surfaces // Computer Graphics. – 1984. – Vol. 18, No. 3. – P. 213–222.

10. *Christensen, N. J., Jensen, H. W.* A Practical Guide to Global illumination and Photon Maps // Proc. SIGGRAPH, 2000.

11. *Kalos, M.H.* On the Estimation of Flux at a Point by Monte Carlo // Nuclear Science and Engineering. – 1963. – Vol. 16, No.1. – P. 111–117.

12. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / Под ред. Г.И. Марчука. – Новосибирск: Наука, 1976.

13. *Phong Bui Tuong*. Illumination for Computer Generated Pictures // CACM. – 1975. – Vol. 18, No. 6. – P. 311–317.

14. *Keller, A.* Instant radiosity // Proc. SIGGRAPH, 1997. P. 49–56.

15. *Батыршин И.З.* Основные операции нечёткой логики и их обобщения. – Казань: Отечество, 2001. – 102 с.

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

Желтов Виктор Сергеевич, *кандидат техн. наук. Окончил в 2005 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Нотфуллин Ренат Шамилевич, *разработчик ПО. Окончил в 2016 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

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

Инновационный салон «Промышленная Светотехника» прошёл в Москве в рамках выставки «ЭЛЕКТРО 2017»

С 17 по 20 апреля 2017 г. в ЦВК «Экспоцентр» прошла 26-я выставка «ЭЛЕКТРО», в составе которой был организован 2-й инновационный салон «Промышленная Светотехника – Москва», организатором которого выступила компания «Белтеко».

В экспозиции «Промышленная Светотехника» приняли участие ведущие отечественные компании, которым есть что предложить взыскательному потребителю в условиях нестабильной экономики: «Физтех-Энерго», *SDSBET*, «Интерьер», «Русвет», «ЛЕД-Эффект», «Планета-СИД», «БЕЛДЕЛ-ГРУПП», «Технологии Света», «ЭМКО», «Атомсвет-Энергосервис», «Свет СПБ», «Трансвит», «Селекта», «РадиоВыключатели», «ЭКЗИТ-Свет» и др. В рамках насыщенной деловой программы 22 предприятия рассказали о своих новинках и опыте установки современных светотехнических приборов на промышленных объектах, в офисах и торговых центрах, в уличном и архитектурном освещении. Кроме того, ввиду соседства с выставкой «НЕФТЕГАЗ», примеры взрывозащищённого промышленного освещения были представлены на стендах компаний «Арман», «Горэлтех», «Гелиосити», *KLM Group*, *Suntek* и «ТЗА». Информационную поддержку салону «Промышленная Светотехника – Москва» предоставили 37 отраслевых изданий и веб-порталов.

Всего в экспозиции «ЭЛЕКТРО 2017» участвовали более 300 компаний из 14 стран мира. За 4 дня выставку посетили более 7000 специалистов, среди которых не менее 2000 инженеров и руководителей, занимающихся проектированием, установкой и обслуживанием систем освещения на промышленных предприятиях, в офисных, торговых, складских центрах, в учебных заведениях и государственных учреждениях, а также специалисты строительных организаций, предприятий ТЭК, сотрудники муниципальных образований, отвечающие за уличное и архитектурное освещение.

Посетители по достоинству оценили предложение доступной и качественной светотехнической продукции для промышленного и офисного освещения, прежде всего отечественного производства, узнали, как выгодно модернизировать освещение цеха, складского комплекса, магазина или делового центра, обсудили с коллегами вопросы выбора, тестирования и обслуживания светотехнических изделий, новые технологии управления освещением, поделились насущными проблемами и идеями.

В рамках деловой программы состоялись семинары:

- «Импортозамещение: наша светотехника для промышленности, складских и торговых комплексов. Осветительные приборы для ТЭК, АЗС, взрывоопасных производств»
- «Комплексная модернизация осветительной сети предприятия»
- «Световое пространство современного города».

Все презентации докладчиков можно скачать из раздела «деловая программа» сайта www.promlight-expo.ru/msk.

19 апреля состоялась автобусная экскурсия «Вечерняя Москва глазами светодизайнера», организованная при поддержке и непосредственном участии экспертов Школы светодизайна *LiDS*. Первым пунктом программы экскурсии стало знакомство с демозалом Школы *LiDS*: «Световые эффекты и восприятие пространства». Далее экскурсия продолжилась по маршруту, охватившему самые знаковые световые точки вечерней Москвы: Смотровую площадку МГУ – Ленинский проспект – Крымский мост – Улицу Пречистенка – Храм Христа Спасителя – Гоголевский бульвар – Новый Арбат – Кудринскую площадь – Садовое кольцо – Тверскую улицу – Бульварное кольцо – Метро «Тургеневская» – Садовое кольцо – Набережную реки Яуза – Москворецкую набережную, и закончилась поздним вечером на Красной площади.

www.cta.ru
27.04.2017

Корабельные светотехнические средства палубной авиации

Д.В. ВАСИЛЬЕВ [1], А.А. ГРИГОРЬЕВ [2], А.И. ЛАРЮШИН [3]

[1] ОАО «Раменский приборостроительный завод», Московская обл., г. Раменское
[2] НИУ «МЭИ», Москва
[3] АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва
E-mail: vasilievd1969@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросам развития корабельных светотехнических средств обеспечения взлётно-посадочных операций летательных аппаратов с палуб авианесущих кораблей в рамках перехода на современные полупроводниковые источники излучения – сверхъяркие светодиоды и лазерные диоды. Анализируются метод расчёта параметров светового поля светосигнальных комплексов дальнего привода, пороговая и статистическая модели зрительного анализатора для оценки параметров формируемых световых полей и применение уравнения переноса излучения для оценки возможности ведения ориентировки по рассеянному световому лучу. Рассматриваются перспективы развития систем ближнего привода на основе проекционного принципа формирования информации.

Ключевые слова: монохроматический сектор, световое поле, система дальнего привода, система ближнего привода, пороговая модель, статистическая модель, зрительный анализатор, уравнение переноса излучения, полупроводниковый источник излучения.

Введение

Взлётно-посадочные операции палубной авиации на авианесущих кораблях – наиболее аварийная часть полётов. Предоставление лётчику визуально воспринимаемой информации о безопасной траектории движения и положении взлётно-посадочной площадки (ВППл) при качке корабля значительно повышает безопасность. Качество светосигнальной информации напрямую зависит от типа применяемых источников света. В системах ближнего привода мировой тенденцией стало применение сверхъярких светодиодов (СД). В системах дальнего привода до последнего времени применялись электрические лампы с блоками светофильтров, что определяло невысокий контраст, ограниченную дальность действия и трудности управления основными параметрами световых полей. В последнее десятилетие постепенно осуществляется переход в этих системах на сверхъяркие СД. Аналогичная ситуация сложилась и с указателями направления взлёта, появление и развитие которых связано с техникой твердотельных, а в последнее время – полупроводниковых лазеров. В свете требований к светотехническим комплексам палубной авиации, ниже рассмотрены вопросы: разработки метода расчёта параметров светового поля систем дальнего привода и их оценки на основе пороговой и статистической моделей зрительного анализатора; применения уравнения переноса излучения в рассеивающей среде для определения энергетических параметров источников излучения. Затронуты перспективы замены существующих систем ближнего привода на проекционные комплексы, способные существенно расширить объём предоставляемой информации и сделать её комфортней для восприятия.

Основная часть

Выполнение взлётно-посадочных операций летательных аппаратов палубной авиации во многом зависит от возможности визуальной ориентировки по световым полям корабельного светосигнального оборудования, поскольку зрение предоставляет наиболее достоверную информацию, особенно в условиях быстро меняющейся обстановки.

Светосигнальные корабельные комплексы (рис. 1) можно условно подразделять:

– по месту «прописки» (авианосцы, смешанные типы, вертолётоносцы группового и одиночного базирования);

– по этапу применения – дальний привод (цветопроблесковые точечные и позиционные) или ближний привод (позиционные, индикационные, ограничительные, подсвета);

– по способу ориентирования (по прямому излучению и по рассеянному в атмосфере излучению коллимированного светового луча);

– по месту расположения (палуба или надстройка);

– по степени подвижности (неподвижные, малоподвижные, подвижные).

Рис. 1. Светотехнические средства обеспечения полётов авианесущих кораблей

Таблица 1

Индикатрисы рассеяния для различных состояний атмосферы ($f(\beta_i)$), отн. ед.

β_i, град	Идеальная атмосфера, $S_м = 50$ км	Чистая атмосфера, $S_м = 20$ км	Морская дымка, $S_м = 4$ км	Крупнодисперсная туманная морская дымка, $S_м = 1$ км	Морской туман, $S_м = 0,2$ км
0	1,49	4,72	22,2	69,2	408,16
10	1,4	4,36	12,44	24,86	33,98
20	1,31	4,0	6,94	8,88	2,79
30	1,202	3,312	3,89	3,19	0,233
40	1,094	2,624	2,17	1,14	0,019
50	0,986	1,936	1,214	0,41	0,0016
60	0,9495	1,6045	0,68	0,146	
70	0,913	1,273	0,38	0,053	
80	0,8765	0,9415	0,21	0,019	
90	0,84	0,61	0,12	0,0067	

Наиболее жёсткие требования предъявляются к световым полям дальнего привода из-за необходимости точного позиционирования летательного аппарата, связанной с повышенной опасностью заключительного этапа полёта, выполняемого на малых высотах. Точное выдерживание траекторий глиссады и курса с момента выхода на посадочную прямую обеспечивается визуальной ориентировкой по цветопроблесковым характеристикам световых полей.

Все системы дальнего привода по способу формирования светового поля представляют собой секторные навигационные комплексы (СНК), формирующие поля из нескольких монохроматических секторов с разными проблесковыми характеристиками. Каждый сектор формируется группой независимых излучателей, в качестве источника излучения в которых используются сверхъяркие монохроматические СД. Поля излучателей идентичны по параметрам и ориентировке и накладываются друг на друга в пространстве с высокой точностью (отклонение от оптической оси сектора не более 1 угл. мин). Для расчёта световых полей используется метод расчёта параметров диаграммы сектора и способ определения ширины переходных зон между секторами. Необходимость разработки нового метода диктовалась спецификой решаемой задачи: расчёт распределения освещённости в поперечном сечении диаграммы сектора требует одновременного учёта: параметров источника излучения (СД) и оптической системы, атмосферы, условий наблюдения (в том числе яркости рассеянного в атмосфере излучения наблюдаемого огня), вероятности обнаружения [1]. В результате определяется форма диаграммы монохроматического сектора, в пределах которого огонь дальнего привода воспринимается с вероятностью не ниже заданной. Метод основан на представлении светового поля в виде ряда изображений источника излучения на разном удалении от комплекса, по которым строится диаграмма сектора. Пространственное распределение освещённости определяется выражением

$$E_i(x_i, y_i, d_i) = \\ = \frac{1}{d_i^2}\int\int_{-\infty}^{\infty} g'(v_x', v_y') \cdot exp[-i2\pi(v_x' x_i \frac{1}{d_i} + v_y' y_i \frac{1}{d_i})]dv_x' dv_y',$$

где $g'(v_x', v_y') = g(v_x, v_y)\Pi_{i=1}^{n} D_i(v_x, v_y)$ – спектр изображения; v_x, v_y – пространственные частоты; $g(v_x, v_y)$ – спектр источника излучения; $D_i(v_x, v_y)$ – оптическая передаточная функция (ОПФ) оптической системы, рассеивающей и турбулентной атмосферы ($D_{ос}(v_x, v_y)$ пропорциональна коэффициенту связи уровня аберрации с конструктивными параметрами оптической системы $K_{ос}$, $м^{-3}$); d_i – расстояние от оптической системы до плоскости изображения (x_i, y_i).

Угловое распределение яркости рассеянного в атмосфере излучения наблюдаемого огня определяется выражением

$$L_\alpha = \int_{p_i} \frac{f(\beta_i)\alpha' E_i(x_i, y_i, d_i)e^{-\varepsilon p_i}}{4\pi \cos\beta_i} dp_i,$$

где ε – показатель ослабления излучения в атмосфере; $f(\beta_i)$ – индикатриса рассеяния излучения в объёме dV; α' – показатель рассеяния.

Параметры $f(\beta_i)$ при разных значениях метеовидимости $S_м$ приведены в табл. 1.

Угловое распределение яркости рассеянного в атмосфере излучения огня комплекса имеет значения, значительно отличающиеся от 0 только в пределах 15 угл. мин. С увеличением $S_м$ яркость рассеянного излучения быстро уменьшается.

Построение диаграммы сектора и формирование яркости фона поясняются рис. 2.

При моделировании световых полей светосигнальных систем используются две модели зрительного анализатора: пороговая модель, оперирующая установленными уровнями освещённости для видов транспорта [2], и статисти-

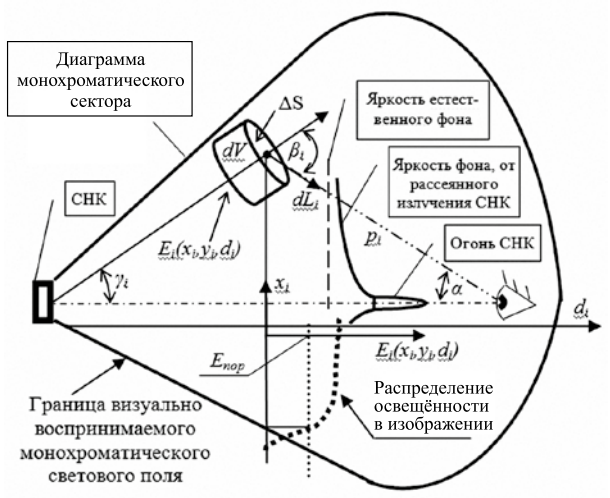


Рис. 2. Формирование диаграммы монохроматического сектора светового информационного поля секторного навигационного комплекса (СНК)

ческая модель зрительного анализатора, разработанная на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ», более полно учитывающая процессы, протекающие в органе зрения [3].

Оценка зрительного восприятия осуществляется с учётом дополнительной яркости фона, вызываемой рассеянием в атмосфере излучения наблюдаемого огня. Это влияние усиливается с уменьшением метеовидимости и особенно заметно при наблюдении над водной поверхностью, насыщающей атмосферу аэрозолями.

В случае, когда яркость фона $L_\phi > 10^{-3}$ кд/м^2, вероятность обнаружения цветного огня СНК (P_o) на цветном фоне с произвольным распределением яркости по поверхности огня и фона определяется статистической моделью зрительного анализатора следующим образом:

$$P_o = 0{,}5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^y exp(-\frac{t^2}{2})dt;\ y = \frac{m_\Lambda - \ln\Lambda_n}{\sigma_\Lambda},$$

$$m_\Lambda = \iint_\Omega \left[X_0(\eta,\theta)\ln\left(\frac{X_0(\eta,\theta)}{X_\phi(\eta,\theta)}\right) - X_0(\eta,\theta) + X_\phi(\eta,\theta)\right] d\eta d\theta,$$

$$\sigma_\Lambda = \left(\iint_\Omega X_0(\eta,\theta)\ln^2\frac{X_0(\eta,\theta)}{X_\phi(\eta,\theta)} d\eta d\theta \right)^{0,5},$$

где θ и η – угловые координаты точек фона и огня СНК, угл. мин; Ω – поле зрения, ср; Λ_n – пороговое отношение правдоподобия; t – параметр нормального распределения; $X_o(\eta, \theta)$ и $X_\phi(\eta, \theta)$ – математические ожидания угловой плотности выходных сигналов рецепторов органа зрения при визировании огня СНК и фона соответственно.

Общее выражение для расчёта $X(\eta, \theta)$ (мин$^{-2}$) имеет вид

$$X(\eta,\theta) = \frac{a_1}{a_2}(1 + 1{,}3\ln a_3)\ln a_3,$$

где

$$a_1 = 83{,}4\left[0{,}04 + 0{,}68exp\left(-\left(\frac{R}{26}\right)^2\right) + 0{,}28exp\left(-\frac{R}{100}\right)\right],$$

$$a_2 = 1{,}0524 / \left[0{,}0524 + exp\left(-\frac{R}{6}\right)\right],$$

$$a_4 = 79{,}5[5 - 3\text{th}(0{,}4\cdot\lg L_{cp})]^2,$$

$$a_3 = 1 + 0{,}00025 a_2 a_4 L,$$

$$R = \sqrt{\eta^2 + \theta^2},$$

L и L_{cp} – наблюдаемая яркость и средняя наблюдаемая яркость огня СНК и фона при определении $X_o(\eta, \theta)$ и $X_\phi(\eta, \theta)$ соответственно, η и θ – в угл. мин, L – в кд/м^2, $X(\eta, \theta)$ – в мин$^{-2}$.

Результатом применения статистической модели является определение, разности яркости между цветными огнём и фоном ΔL, при которой огонь обнаруживается с заданной вероятностью. Для границ красного, зелёного, жёлтого секторов светового поля комплекса результат приведён в табл. 2 ($P_o = 1$) и на рис. 3.

Из полученных результатов следует, что угловая ширина переходных зон не зависит от времени суток, причём ночью яркость фона определяется рассеянием излучения огня в атмосфере, в дневных условиях – рассеянным солнечным светом.

Предложенный метод расчёта применён для моделирования диаграммы монохроматического сектора при различных вероятностях обнаружения и внешних условиях: метеовидимости и степени турбулентности атмосферы (слабой (структурная постоянная показателя преломления $C_n^2 = 10^{-15}$ м$^{-2/3}$), средней (10^{-14} м$^{-2/3}$) и сильной (10^{-13} м$^{-2/3}$)), яркости фона (времени суток). Перемещение границы сектора, вызванное турбулентностью атмосферы на дистанции распространения d_i, характеризуется дисперсией σ_r^2 (индекс r означает смещение в направлении, перпендикулярном распространению излучения) или среднеквадратическим отклонением σ_r (неопределённость зрительного позиционирования СНК порядка $2\sigma_r$), которое определяется выражением [2]

$$\sigma_r = \sqrt{\overline{\left(r - \bar{r}\right)^2}} = 135 C_n \lambda^{-1/12} d_i^{17/12},$$

где r – текущее смещение границы сектора, $\bar{r}$ – среднее смещение границы сектора.

Таблица 2

ΔL цветных огней для границ секторов светового поля

Условия наблюдения	ΔL, кд/м^2 (ночь, сумерки)	ΔL, кд/м^2 (день)
Красный	7,23 (на зелёном)	107,1 (на белом)
Зёленый	11,41 (на красном)	168,9 (на белом)
Зёленый	11,78 (на жёлтом)	174,3 (на белом)
Жёлтый	15,94 (на зелёном)	235,9 (на белом)

Расчёты для рабочего диапазона длин волн 505–630 нм показывают, что влияние турбулентности практически неселективно и значение среднеквадратического отклонения определяется только степенью турбулентности. Пространственный сдвиг границы монохроматического сектора составляет не более 10 % от ширины переходной зоны, внутри этого сектора турбулентность не оказывает влияния на восприятие огня. Результаты моделирования для различных метеоусловий и времени суток позволяют сделать важный вывод – угловые размеры и форма диаграммы сектора остаются неизменны (при изменении дальности видимости), что и необходимо для формирования секторного информационного поля, обеспечивающего высокую точность визуальной ориентировки.

Текущая ширина переходных зон между секторами характеризуется плавной сменой цвета и определяется следующим выражением [1] (обозначения – по рис. 4):

$$\Delta(d_i)=\left(d(d_i)-\frac{d_i}{z_{\partial\partial}}\left(d(z_{\partial\partial})-r\right)-r\right)\times$$

$$\times\frac{z_{\partial\partial}}{\sqrt{z_{\partial\partial}^2+0{,}25\left(d(z_{\partial\partial})-r\right)^2}}$$

где r – линейный размер излучающей поверхности группы излучателей.

Результаты расчёта переходных зон и натурных экспериментов (количество наблюдателей – 3–5, количество наблюдений на выбранной дальности для каждого наблюдателя – 5) приведены в табл. 3. Они показывают, что ширина переходных зон между секторами светового поля сохраняется в пределах 5–7 угл. мин вне зависимости от внешних условий, что соответствует требованиям к обеспечению полётов и подтверждается результатами натурных экспериментов. Формирование секторов группами излучателей обеспечивает отсутствие ослепления при наблюдении огня на малых дистанциях из-за раздельного восприятия излучателей, что актуально для лётного состава.

При взлёте ночью необходима визуально воспринимаемая траектория движения. Для этого применяется указатель направления взлёта, генерирующий стабилизированный в пространстве световой луч, по рассеянию которого ведётся визуальная ориентировка. Её эффективность определяется влиянием атмосферы на распространение луча: поглощением и рассеянием излучения в толще среды. Расчёт распространения оптического излучения сквозь толщу мутной среды базируется на решении уравнения переноса излучения (УПИ) методом функции Грина. Используемая в большинстве случаев при анализе переноса функция Грина УПИ рассчитывалась либо в приближении одной или двух кратностей рассеяния, либо в рамках малоуглового приближения, что существенно ограничивало области её применения. Первое приближение ограничено областью малых оптических расстояний, а малоугловое приближение справедливо лишь для сред с предельно анизотропным рассеянием излучения, когда практически весь рассеянный на элементе объёма среды световой поток сосредоточен в интервале углов от

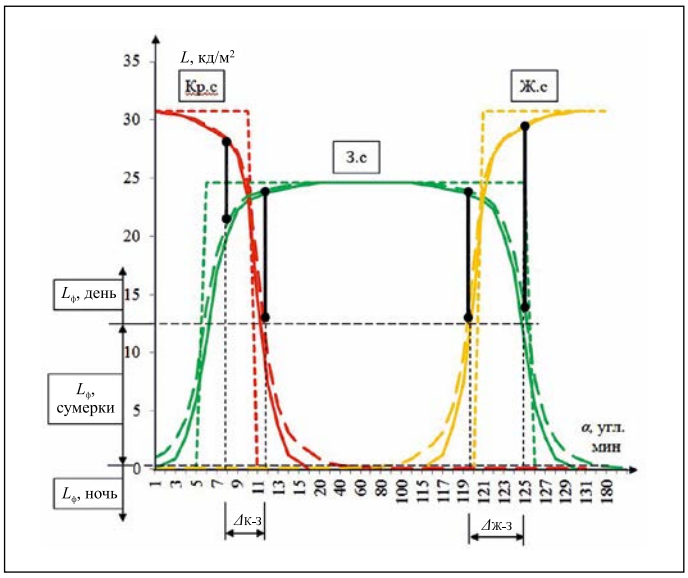


Рис. 3. Поперечное сечение разноцветного светового поля, формируемого СНК, с учётом рассеяния излучения СНК в атмосфере (дистанция наблюдения 230 м, метеорологическая дальность видимости 200 м):
Кр.с, Ж.с и З.с – секторы красного, жёлтого и зелёного цветов соответственно; $\Delta_{К\text{-}З}$ – ширина переходной зоны между красным и зелёным секторами, $\Delta_{Ж\text{-}З}$ – ширина переходной зоны между жёлтым и зелёным секторами; γ_i – в соответствии с рис. 2

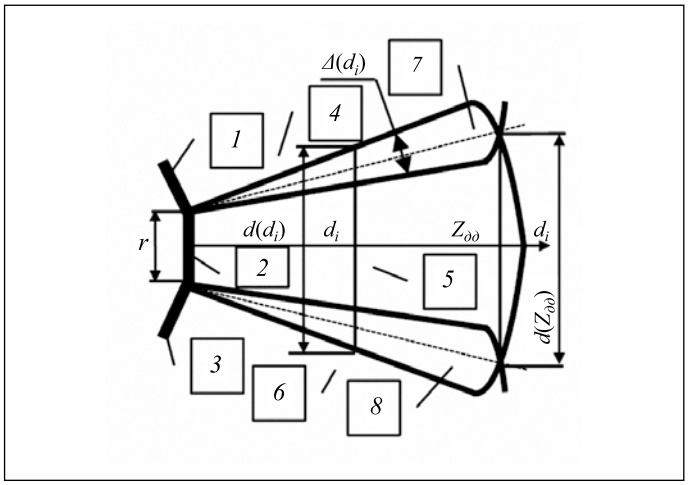


Рис. 4. Определение ширины переходной зоны:
1, *2* и *3* – группы излучателей с λ = 505, 590 и 625 нм соответственно; *4*, *5* и *6* – диаграммы секторов с λ = 505, 590 и 625 нм соответственно; *7* и *8* – переходные зоны между секторами с λ = 505, 590 нм и 590, 625 нм соответственно

0 до 10–15°. Однако атмосфера свыше 90 % времени находится в состоянии или дымки, когда в указанном интервале углов сосредоточено всего лишь 20–30 % рассеянного светового потока, или туманной дымки – 50 % рассеянного светового потока [4].

Расчётные трудности преодолеваются, если в качестве функции Грина брать решение УПИ, полученное в рамках малоуглового приближения, пренебрегая при этом лишь дисперсией путей рассеянных фотонов, что позволяет получить универсальный метод расчёта переноса оптического излучения сквозь толщу мутной среды [4] и определить освещённость глаза наблюдателя $E_{зр}$ рассеянным в атмосфере излучением (рис. 5):

Таблица 3

Ширина переходных зон между диаграммами секторов (при $p = 0,5$)

	d_i, м		200	500	1000	2000	4000	6000	8000	9000	9500	10000
λ_1/λ_2, нм	$S_м$, км	Время	$\Delta(d_i)$, м									
505/590	50	ночь	0,34 0,33*	0,87 0,72*	1,7	3,31	5,91 6,23*	9,16	13,31 13,78*	5,75	0	0
590/625			0,33 0,35*	0,81 0,79*	1,64	3,25	5,88 6,55*	8,92	13,67 14,02*	11,94	7,92	0
505/590	5	ночь	0,34	0,87	1,76	3,36	0					
590/625			0,34	0,83	1,73	3,34	0					
505/590	0.8	ночь	0,41 0,57*	0,95 1,02*	0							
590/625			0,53 0,68*	0,92 1,06*	0							
505/590	50	сумерки	0,32 0,34*	0,78	1,55	3,14	5,34 5,87*	8,57	0			
590/625			0,3 0,35*	0,71	1,43	3,22	5,47 6,24*	8,8	0			
505/590	50	день	0,31 0,34*	0,75	1,56 1,51*	0						
590/625			0,3 0,35*	0,87	1,38 1,72*	0						

$$E_{зр} = \frac{\varepsilon \Lambda x(\pi) \Omega_{гл} \tau_{ск}}{4\pi S_{зр}} \times$$

$$\times \int_{a\cdot \mathrm{tg}(\beta_{зр} - \frac{a_{зр}}{2})}^{a\cdot \mathrm{tg}(\beta_{зр} + \frac{a_{зр}}{2})} E_\omega(\hat{r}, \hat{n}_0 \to \hat{r}) e(\hat{r}, \hat{r} \to -n) S_{луча}(\hat{r}) dL(\hat{r}),$$

где $\hat{n}_0$ – единичный вектор оси луча излучателя; $\sigma(\pi) = \varepsilon \Lambda x(\pi)$ – показатель обратного рассеяния среды; $x(\pi)$ – значение индикатрисы рассеяния под углом 180°; $\Omega_{гл}$ – телесный угол поля зрения глаза наблюдателя (в момент выполнения взлёта); $\tau_{ск}$ – коэффициент пропускания стекла кабины; a – базовое расстояние; $\hat{r}$ – единичный вектор направления на зрительный анализатор; E_ω – пространственное распределение освещённости; $-n$ – направление, обратное направлению распространения пучка излучения; $S_{зр}$ – площадь зрачка зрительного анализатора; $S_{луча}$ – площадь поперечного сечения луча.

В расчёте принимались: 10-кратное превышение порогового уровня освещённости уверенного распознавания для ночного зрения; длина волны 540 нм; диапазон метеовидимости 0,2–5 км; базовое расстояние 30 м. Полученная мощность светового луча на выходе указателя направления взлёта составляет не менее 2 Вт.

При подлёте и зависании летательного аппарата над ВППл зрительная ориентировка ведётся по огням ближнего привода – протяжённым источникам света, для анализа восприятия которых целесообразно применять статистическую модель зрительного анализатора. Для восприятия огней с разных направлений, с дальности менее 200 м, их пространственное светораспределение должно характеризоваться осевой силой света 0,2–0,3 кд и углом излучения не менее 120° (т.е. силой света на сторонах угла излучения, равной половине осевой).

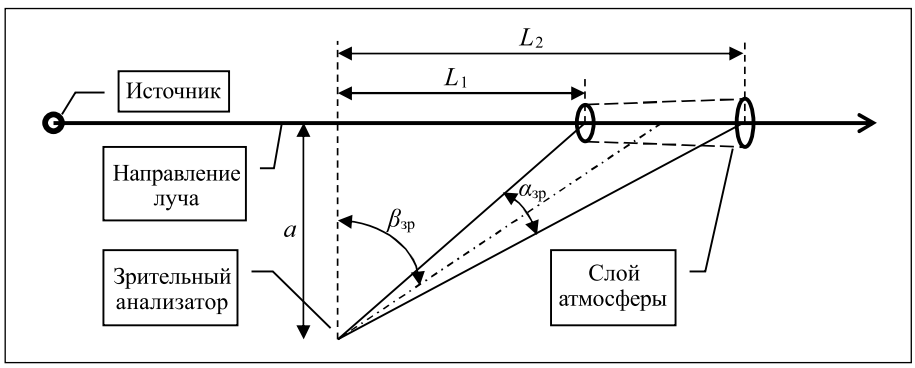


Рис. 5. Определение освещённости глаза наблюдателя, создаваемой рассеянным излучением. (Здесь «Источник» – прибор, формирующий световой луч)

Перспективы развития

К настоящему времени светотехническое оборудование авианесущих кораблей для взлётно-посадочных операций сформировалось во вполне сложившиеся комплексы, предоставляющие лётчику минимально необходимый объём визуально воспринимаемой информации. Новым направлением их развития в области ближнего привода может быть совершенствование способа предоставления информации. Учитывая быстрое развитие светопроекционной техники, многие огни ближнего привода (огни индикации крена, вертикального перемещения, посадочного «Т») можно заменить их проекционными картинами на элементах надстроек корабля. Это обеспечит лётчику комфорт-

ные условия для их наблюдения в момент зависания над палубой, когда необходим «сбор» большого объёма информации о движении ВППл корабля.

Заключение

Представленные в статье выражения для определения параметров световых полей и энергетических характеристик источников излучения в сочетании с применяемыми для анализа пороговой и статистической моделями зрительного анализатора позволяют проводить моделирование систем дальнего и ближнего привода с целью определения параметров, наиболее полно отвечающих требованиям обеспечения полётов палубной авиации на авианесущих кораблях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев Д.В.*, *Ларюшин А.И.*, *Кормаков А.А.* Оптимизация процесса проектирования оптических систем светодиодных и лазерных комплексов для решения задач зрительной навигации на транспорте // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2007. – № 2. – С. 40–44.
2. *Батусов С.В.* Светосигнальные установки. – М.: Энергия, 1979. – 120 с.
3. *Григорьев А.А.*, *Кощавцев Н.Ф.* Определение вероятности обнаружения объектов на неравномерных фонах // Труды Московского ордена Ленина энергетического института. Вып. 316. Теоретические и прикладные вопросы светотехники: Темат. сборник, 1977. – М.: Изд-во МЭИ. – С. 15–18.
4. *Будак В.П.*, *Савенков В.И.* Перенос оптического изображения в активно-импульсных системах локации // Труды Московского энергетического института. Вып. 602. Прикладная физическая оптика: Темат. сборник, 1983. – М.: Изд-во МЭИ. – С. 24–30.

Васильев Дмитрий Викторович, *кандидат техн. наук. Окончил в 1993 г. МЭИ. Зам. главного конструктора ОАО «Раменский приборостроительный завод»*

Григорьев Андрей Андреевич, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1972 г. МЭИ. Зам. заведующего кафедрой «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Ларюшин Александр Иванович, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1968 г. Ульяновский политехнический институт. Научный консультант АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»*

«Промышленная Светотехника – Петербург, 2017»: новый свет для города на Неве

3–6 октября 2017 г. в Санкт-Петербурге пройдёт 7-й инновационный салон светотехнических решений для промышленности, бизнеса, городской инфраструктуры «Промышленная Светотехника – Петербург, 2017». Выставка и деловая программа готовятся при поддержке российской ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС) и пройдут в ЦВК «Экспофорум» в рамках выставки «Энергосбережение и Энергоэффективность» и одновременно с выставкой «РосГазЭкспо».

Инновационный салон «Промышленная Светотехника» привлекает внимание широкого круга специалистов, решающих задачи в области освещения производственных и складских помещений, архитектурного и декоративного освещения, поставки осветительных приборов для офисов, торговых центров, учебных заведений, государственных учреждений и т.д., а также улично-дорожной сети, тоннелей, станций, мостов и эстакад.

Традиционно, в рамках инновационного салона организуется обширная деловая программа. В рамках Дня светотехники, который пройдёт 5 октября, специалисты смогут посетить семинары:

- «Современное освещение и светодизайн для торговых помещений как эффективный способ привлечения покупателей через создание комфортной световой среды» (приглашаются руководители предприятий торговли, общественного питания, торговых и бизнес-центров)
- «Взрывозащищённое осветительное и электротехническое оборудование отечественных производителей: новинки, опыт внедрения, успешные проекты» (приглашаются специалисты и главные энергетики газоперекачивающих станций, взрывоопасных производств (пищевая, химическая, ТЭК, ВПК)
- «Архитектурное, уличное и ландшафтное освещение на благо жителей и туристов: как преобразить городскую среду с помощью света?» (организуется при поддержке ГУП «Ленсвет», приглашаются специалисты администраций муниципальных образований, архитекторы, светодизайнеры)
- «Особенности проектирования аварийного освещения на производственных предприятиях»

Кроме того, состоится автобусная экскурсия: «Архитектурное освещение храмов Северной столицы», в рамках которой известные светодизайнеры расскажут об особенностях светового оформления храмовых комплексов, усилении визуального эффекта восприятия зданий и о повышении привлекательности и комфорта городской среды для жителей и туристов.

В 2016 г. в выставке и в деловой программе «Промышленная Светотехника» приняли ведущие поставщики светотехнических приборов и комплектующих в Северо-Западном регионе: *SDSBET*, «Лазер-Граффити», «Револайт», «Нева-Реактив», НТП «ТКА», «СафПласт», *IntiLED*, «ЛЕД-Эффект», «Руслед», «Фотон» и др. Экспозиция привлекла внимание более 1500 целевых посетителей.

Оргкомитет инновационного салона «Промышленная Светотехника – Петербург»:
Тел: +7 (495) 287–4412, info@promlight-expo.ru

Сравнительный анализ функциональных характеристик солнцезащитных средств для гражданских зданий в условиях жаркого и солнечного климата

С.В. СТЕЦКИЙ

НИУ «Московский государственный строительный университет» (НИУ «МГСУ»), Москва
E-mail: agpz@mgsu.ru

Аннотация

Рассматриваются вопросы сравнительного анализа функциональных качеств солнцезащитных средств применительно к зданиям в условиях жаркого и солнечного климата. Солнцезащитные средства рассматриваются в виде стационарных и регулируемых солнцезащитных устройств, а также летних и внешних коммуникационных помещений. Приводится сравнительный анализ их основных функциональных характеристик.

Делаются выводы о необходимости комплексного применения солнцезащитных средств разного вида и о том, что в условиях «ясного неба», типичных для регионов с рассматриваемыми климатическими характеристиками, стационарные солнцезащитные устройства способствуют повышению внутренней естественной освещённости в помещениях за счёт отражения от них потоков солнечного света и перераспределения этих потоков в интерьерах.

Ключевые слова: солнцезащитные средства, функциональные характеристики, комплексное применение, летние рекреационные и коммуникационные помещения, стационарные и регулируемые солнцезащитные устройства, эстетические качества солнцезащиты.

В условиях жаркого и солнечного климата инсоляция помещений должна минимизироваться, а в летний период и вообще исключаться, т.к. в рассматриваемых климатических условиях она – причина значительного перегрева помещений и светового дискомфорта в них [1–5].

Эффективной защитой помещений от теплового и светового воздействия солнечных лучей при использовании естественных (пассивных) методов создания микроклиматической среды в помещениях являются так называемые «солнцезащитные средства», основными из которых являются [1–8]: 1) ориентация помещений по сторонам света; 2) планировочное решение зданий; 3) затеняющий эффект окружающей застройки; 4) элементы крупной пластики фасадов; 5) летние и коммуникационные помещения внешнего расположения; 6) солнцезащитные устройства (СЗУ).

СЗУ, которые бывают внешними и внутренними, стационарными и регулируемыми, часто эстетически улучшают архитектурные качества фасадов зданий. Кроме того, некоторые летние рекреационные и внешние коммуникационные помещения (лоджии, балконы и галереи) могут рассматриваться и как стационарные СЗУ, в силу присутствия в их конструкции внешних горизонтальных и вертикальных затеняющих элементов (рис. 1) [1–5, 8–12]. В этом случае аркады, галереи, лоджии, балконы и веранды – важные средства солнцезащиты окон, стен и открытых пространств.

В табл. 1 приведены характеристики основных солнцезащитных средств, анализ эффективности которых должен базироваться на сравнении функциональных качеств которые, кроме ограничения инсоляции, включают в себя светотехнические и эстетические аспекты (табл. 2).

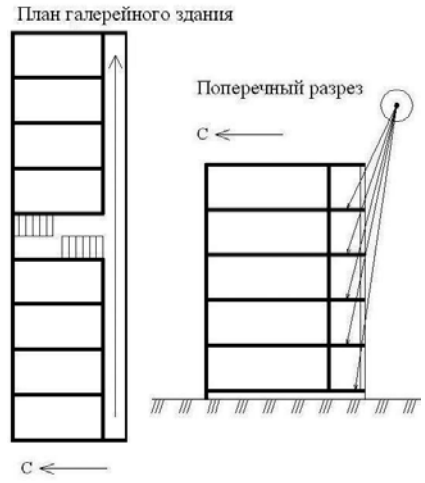
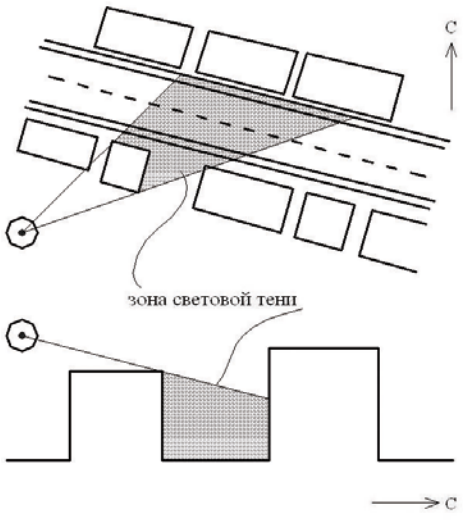
При этом, в частности, роль горизонтальных элементов наружных стационарных СЗУ в условиях солнечного климата в светотехническом плане весьма положительна, что убедительно доказано в ряде работ [2–7, 13–17].

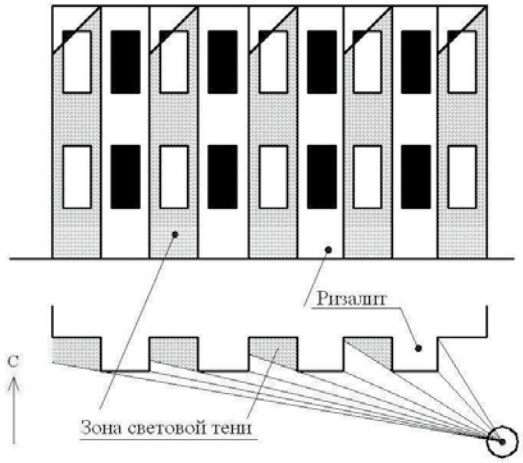
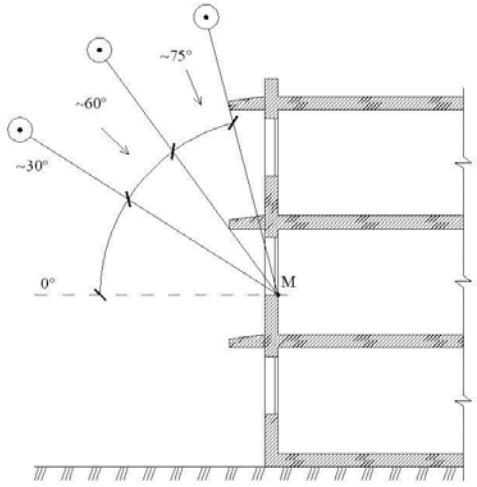
На рис. 2 показано, что общепринятое понимание затеняющего влияния горизонтальных СЗУ, базирующееся на стандартной (нормативной) теории диффузного наружного

Рис. 1. Традиционные решения летних и коммуникационных внешних помещений, характерных для климата южных регионов: *а* – культовое здание в г. Дар-эс-Салам, Танзания; *б* – административное здание в г. Занзибар Танзания; *в* – жилое здание в г. Латакия, Сирия; *г* – учебное здание в г. Латакия, Сирия

Таблица 1

Архитектурно-планировочные, конструктивные эстетические и градостроительные аспекты солнцезащиты, характерные для условий жаркого и солнечного климата

Основные меры по солнцезащите и поясняющие схемы	Характеристика
	Ориентация Оптимальна широтная ориентация с расположением продольной оси здания по направлению «восток – запад» (±15÷20°). Наиболее рациональная солнцезащита на южном фасаде – горизонтальные стационарные солнцезащитные устройства.
	Планировочное решение Наиболее целесообразны здания с галереями или лоджиями, в которых коммуникационные и рекреационные функции совмещаются с солнцезащитными функциями горизонтальных стационарных СЗУ.
	Затеняющий эффект окружающей застройки При низкостоящем или восходящим солнце в случае плотной застройки, узких улиц и относительно невысоких зданий имеет место эффект затемнения рассматриваемого здания противостоящей застройкой. Этот эффект функционально дополняет «работу» стационарных солнцезащитных устройств.

Основные меры по солнцезащите и поясняющие схемы	Характеристика
	Крупная пластика фасадов При широтной ориентации зданий низкие лучи восходящего или заходящего солнца могут быть эффективно экранироваться элементами крупной пластики фасадов (например, ризалитами), которые выполняют роль вертикальных СЗУ.
	Универсальность горизонтальных стационарных СЗУ позволяет осуществлять солнцезащитные функции в летний и переходный период года. Функции пассивного отопления помещений за счёт солнечной радиации в холодный период года осуществляются при высоте солнца от 30 до 60°.

освещения, не «работает» в условиях жаркого и солнечного климата и ясного неба, так как потоки солнечного света, отражающиеся от подстилающих поверхностей земли и нижерасположенных СЗУ, повышают уровни КЕО в помещениях. Как показывает практика, это повышение достигает (10–30)% в дальней от окна зоне помещений, что крайне важно с точки зрения сравнения расчётных и нормируемых значений КЕО при боковом естественном освещении, которые определяются в наиболее удалённой от окон расчётной точке [1–6, 18].

Исследования, определившие факт повышения КЕО при использовании стационарных СЗУ в условиях ясного неба в последнее десятилетье проводились на кафедре «Архитектура гражданских и промышленных зданий» (ныне кафедра «Проектирование зданий и сооружений») НИУ «МГСУ» [7, 13–17, 19–20]. Так, исследования внутренней световой среды в гражданских зданиях, провёденные в Бейруте (Ливан) [13, 14] касались жилых помещений без СЗУ, над окнами которых устраивались временные макеты комбинированных СЗУ, состоявших из криволинейных козырьков и узких боковых экранов. Это позволяло определять КЕО как

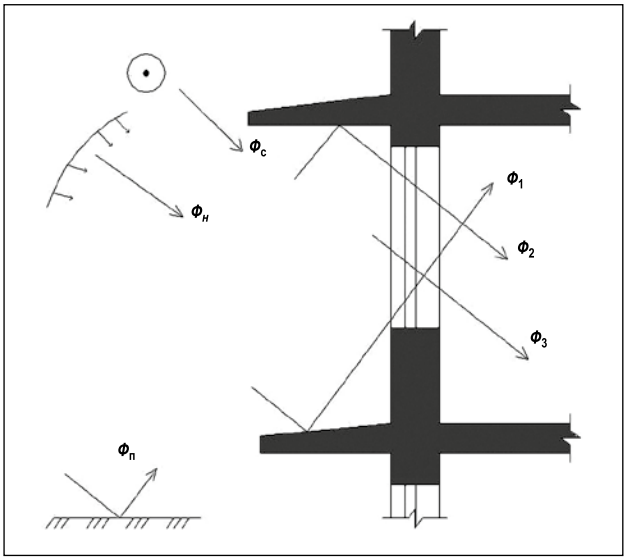


Рис. 2. Светопоступления в помещение при боковом естественном освещении и применении горизонтальных СЗУ: $Ф_с$ – световой поток (СП) непосредственно от солнца; $Ф_н$ – СП от облачного неба; $Ф_п$ – СП от подстилающей поверхности; $Ф_1$ – СП от верхней поверхности козырька; $Ф_2$ – СП от нижней поверхности козырька; $Ф_3$ – СП непосредственно от небосвода и солнца

Таблица 2

Сравнительные функциональные характеристики солнцезащитных средств разного вида

№№ п/п	Варианты солнцезащитных средств	Оцениваемые факторы		
		Солнцезащитные свойства	Светотехнические свойства	Эстетические свойства
1	Ориентация помещений по сторонам света	●	◒	○
2	Планировочное решение зданий	◒	◒	◒
3	Затеняющий эффект окружающей застройки	●	◒	○
4	Элементы крупной пластики фасадов	◒	◒	◒
5	Летние и коммуникационные помещения внешнего расположения	●	●	●
6	СЗУ	●	●	●

Обозначения

● Эффективность ресурса максимальная

◒ Эффективность ресурса средняя

○ Эффективность ресурса минимальная

при наличии, так и – отсутствии СЗУ, как при условиях ясного неба, так и – диффузного наружного освещения, на основе расчётных и натурных исследований (рис. 3). Результаты исследований показали значительное положительное влияние наружных СЗУ на уровни КЕО в помещениях в регионах с солнечным климатом и характером наружного освещения, соответствующим условиям ясного неба. Одновременно с этим было отмечено снижение КЕО при использовании СЗУ в условиях диффузного наружного освещения, что естественно – вследствие меньших отражённых световых потоков от СЗУ в интерьеры помещений при облачном небосводе, чем при ясном.

Выводы

1. Сравнительный анализ функциональных характеристик различных солнцезащитных средств, отвечающих основным требованиям к их физико-техническим и эстетическим качествам, показывает, что наиболее эффективными солнцезащитными средствами в условиях жаркого и солнечного климата являются как СЗУ разного типа, так и разнообразные летние и коммуникационные помещения зданий. Частично этим требованиям отвечают и элементы крупной пластики фасадов, и геометрия объектов окружающей застройки.

2. Проведённый анализ подтверждает вывод о том, что оптимальное соотношение функциональных и эстетических качеств солнцезащитных средств возможно лишь при оптимальном сочетании стационарных и регулируемых СЗУ с элементами крупной пластики фасадов и с летними и коммуникационными внешними помещениями (при учёте их эстетических качеств).

3. Определено значительное положительное влияние наружных стационарных СЗУ на уровни КЕО в по-

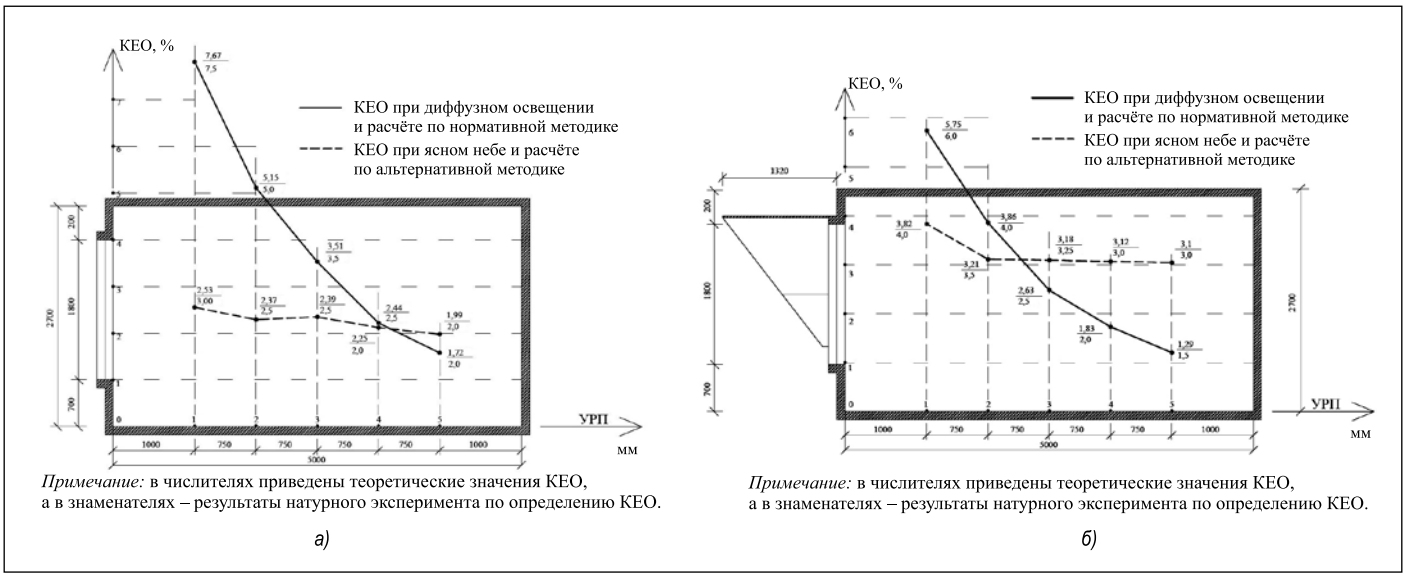


Рис. 3. Кривые КЕО в помещении без комбинированного СЗУ (*а*) и с комбинированным СЗУ (*б*). (В числителях – расчётные значения КЕО, в знаменателях – результаты натурного эксперимента по определению КЕО. УРП – условно расчётная поверхность.)

мещениях в регионах с солнечным климатом как при натурных исследованиях, так и при теоретических по методике «ясного неба». Причём при диффузном наружном освещении СЗУ ослабляют внутреннее освещение больше, чем нижние СЗУ усиливают его при малом отражении световых потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев Н.М.* Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 438 с.
2. *Соловьёв А.К.* Физика среды. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 344 с.
3. *Оболенский Н.В.* Светотехнические аспекты инсоляции и солнцезащиты в строительстве / Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1983. – 29 с.
4. *Оболенский Н.В.* Учёт прямого солнечного света при проектировании зданий в южных районах» // Промышленное строительство. – 1965. – № 1. – С. 12–14.
5. *Оболенский Н.В., Волков Ю.А.* Освещение и пластическая выразительность индустриальных элементов зданий // Архитектура СССР. – 1976. – № 7. – С. 54–55.
6. *Стецкий С.В.* Эстетика гражданских зданий при использовании в них стационарных солнцезащитных средств для условий жаркого климата // ПГС. – 2015. – № 7. – С. 76–80.
7. *Стецкий С.В., Сало М.А.* Учёт влияния солнцезащитных устройств при расчёте естественного освещения в условиях южных регионов с преобладанием ясного неба» // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2004. – № 10. – С. 64–65.
8. *Харкнесс Е., Мехта М.* Регулирование солнечной радиации в зданиях. Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.
9. Solar shading for low-energy buildings. – Belgium: European Solar-Shading Organization, 2012, February. – 34 p.
10. EN13561 «External blinds and awnings – Performance requirements including safety».
11. EN14501 «Blinds and shutters – Thermal and visual comfort – Performance characteristics and classification».
12. Understanding overheating-where to start (an introduction for house builders and designers). – Great Britain: NHBC Foundation, 2012. – 34 p.
13. *Стецкий С.В., Амхаз Х.* Роль солнцезащитных устройств в формировании комфортной световой среды в помещениях административных зданий для условий Бейрута» // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2004. – № 12. – С. 52–53
14. *Стецкий С.В., Сулиман С.* Повышение уровней естественной освещённости в помещениях гражданских зданий с системой бокового естественного освещения для условий жаркого и солнечного климата // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2005. – № 5. – С. 82–84.
15. *Стецкий С.В., Порублев С.А.* Методы расчёта естественной освещённости с учётом света, отражённого от светоперераспределяющих солнцезащитных устройств // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2011. – № 4. – С. 34–37.
16. *Стецкий С.В., Ходейр В.А.* Внутренняя световая среда в жилых зданиях при использовании комбинированной солнцезащиты // Вестник МГСУ. – 2012. – № 8. – С. 39–45.
17. *Стецкий С.В., Ходейр В.А.* Эффективные солнцезащитные устройства в гражданском строительстве регионов с жарким солнечным климатом // Вестник МГСУ. – 2012. – № 7. – С. 9–15.
18. *Стецкий С.В.* Стационарные солнцезащитные средства как фактор архитектурной выразительности зданий и обеспечения комфортных микроклиматических внутренних режимов в их помещениях для условий жаркого солнечного климата // Научное образование. – 2014. –№ 7. – С. 572–579.
19. *Соловьёв А.К.* Оценка световой среды производственных помещений в условиях ясного неба // Светотехника. – 1987. – № 7. – С. 12–14.
20. *Соловьёв А.К.* Учёт влияния отражённого света в расчётах естественного освещения промышленных зданий с системами верхних светопроёмов при неравномерном светораспределении / Сб. труд. каф. архит. МИСИ. – М: Изд. МИСИ, 1974. – С. 73–82.

Стецкий Сергей Вячеславович, *кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1970 г. Московский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева. Доцент кафедры «Проектирование зданий и сооружений» (б. кафедра «Архитектура гражданских и промышленных зданий») НИУ «МГСУ»*

Экспериментальная система передачи данных видимым светом при наличии помех, создаваемых внешней засветкой*

Б. ВИДЖАЯЛАКШМИ[1], *К. СИНДХУБАЛА*[2]

Факультет электроники и связи, Университет им. Б.С. Абдур Рахмана, Ченнаи, Индия

[1] vijayalakshmi.b@bsauniv.in

[2] sindhubala_ece_phd_2014@bsauniv.ac.in

Аннотация

Солнечные панели традиционно считаются наиболее перспективными экологически безопасными источниками энергии. Солнечная панель может заменить фотодиод в приёмнике системы передачи данных видимым светом (*VLC*), так как при этом облегчается нацеливание света белых светодиодов (СД) и увеличивается приёмная поверхность. В предлагаемой системе в передатчике используется белый СД, обеспечивающий освещение и передачу данных, атмосферный канал и выступающая в роли приёмного устройства солнечная панель. Наибольшую обеспокоенность при этом вызывают влияющие на работу системы передачи данных помехи, которые создаются внешней засветкой прямым солнечным светом и люминесцентными лампами. В предлагаемой системе в приёмнике используется адаптивный детектор минимального напряжения (*adaptive minimum voltage detector*), который отслеживает минимальное напряжение, обусловленное воздействием внешней засветки, после чего создаваемые внешней засветкой помехи отсекаются при помощи дифференциального усилителя и фильтра верхних частот Саллена-Ки. Предлагаемая экспериментальная система обеспечила равную 5,58 кбит/с скорость передачи двоичных данных при равном 1,2 м расстоянии между передатчиком и приёмником. Такая же схема приёмника, обеспечивающая уменьшение создаваемых внешней засветкой помех, была опробована применительно к аудиофайлам в формате *MP3* и позволила достичь равного 0,40 м расстояния между передатчиком и приёмником.

Ключевые слова: помехи, создаваемые внешней засветкой, светодиод, СД, солнечная панель, передача данных видимым светом, *VLC*.

1. Ведение

Передача данных видимым светом (*VLC*) дополняет радиосвязь и может использоваться для обеспечения связи в сложных условиях, например, в больницах, самолётах, под водой и т.д. [1–3]. Кроме того, к достоинствам *VLC* можно отнести высокую степень защиты передаваемой информации, безопасность для людей, большое количество нерегламентированных частотных диапазонов и безлицензионность [4]. Для передачи и приёма данных используются серийно выпускаемые светодиоды (СД) и солнечные панели. Солнечная панель представляет собой пассивное устройство и не требует дополнительных источников питания. К достоинствам солнечных панелей следует также отнести экологическую безопасность, большую площадь принимающей поверхности и облегчение нацеливания света. Помехи, создаваемые естественным и искусственным светом, имеют, в среднем, большую мощность, чем полезный входной сигнал. Поэтому вредное воздействие помех, создаваемых внешней засветкой в комнатных системах *VLC*, требует внимательного рассмотрения для обеспечения более хорошего воспроизведения сигнала [5–9].

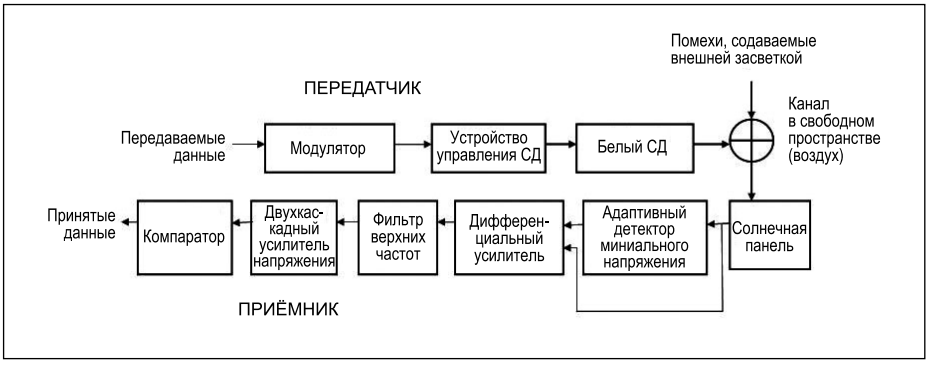


Рис. 1. Блок схема предлагаемой системы *VLC*, в которой в качестве приёмника используется с солнечная панель

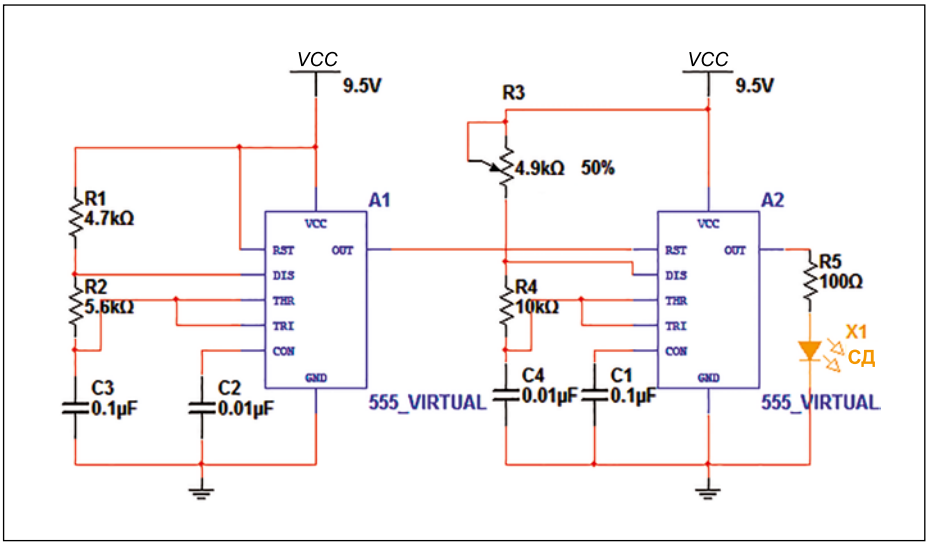


Рис. 2. Схема предлагаемого передатчика системы *VLC* (*VCC* – напряжение постоянного тока, *OUT* – выход, *GND* – земля)

* Перевод с англ. Е.И. Розовского

В [10] было реализовано основанное на использовании солнечной панели устройство для приёма оптической энергии и передаваемых видимым светом сигналов при скорости передачи данных 3 кбит/с и не превышающем 40 см расстоянии между передатчиком и приёмником. В [10] было также рассмотрено влияние солнечного света. Однако дальность связи в этой работе составляла всего 40 см, что не подходит для практического применения. В этом устройстве учтены только помехи, создаваемые солнечным светом, а помехи, создаваемые люминесцентными лампами, во внимание не принимались.

В [11] было проведено экспериментальное исследование солнечных панелей, предназначенных для средств связи и аккумулирования энергии. Использование амплитудной манипуляции позволило получить равные, соответственно, 1 Мбит/с и 39 см скорость передачи данных и дальность связи. При использовании мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов, на этом же расстоянии удалось обеспечить равную 7,01 Мбит/с скорость передачи данных. Однако дальность связи, достигнутая в этой основанной на использовании амплитудной манипуляции системе, составляло всего 39 см, а этого недостаточно для практического применения. Помимо амплитудной манипуляции, в этой системе использовались конденсатор для фильтрации постоянной составляющей тока и обычный фильтр нижних частот для фильтрации помех. Использование фильтра нижних частот не позволяет полностью подавить помехи, создаваемые внешней засветкой.

В [12] была проиллюстрирована передача аудиосигнала системой *VLC*, в которой использовалась солнечная панель. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что СД излучает слабо расходящийся пучок. В этой работе была достигнута равная 35 см дальность связи, чего явно недостаточно.

В [13] был предложен и испытан приёмник системы *VLC*, обеспечивающий подавление помех, создаваемых внешней засветкой, благодаря использованию амплитудной манипуляции. Этот приёмник содержал фотодиод, и достигнутая дальность связи составила 1 м. Однако фотодиод можно заменить на экологически безопасную солнечную панель, а затем проверить работу системы применительно к той же самой схеме приёмника при наличии помех, создаваемых внешней засветкой.

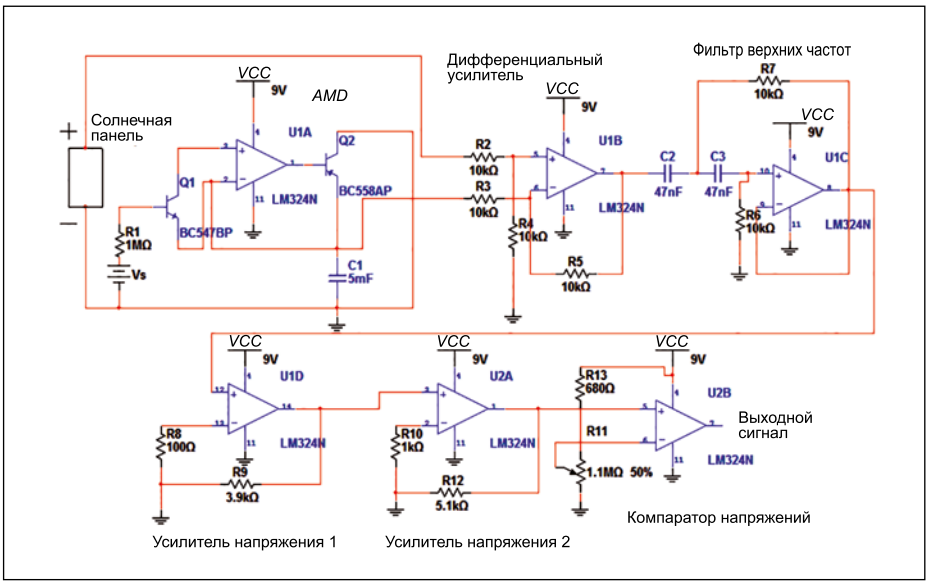


Рис. 3. Схема приёмника. Солнечная панель, адаптивный детектор минимального напряжения, дифференциальный усилитель, фильтр верхних частот Саллена-Ки, усилители напряжения и компаратор напряжения соединены последовательно (*VCC* – напряжение постоянного тока, *AMD* – адаптивный детектор минимального напряжения)

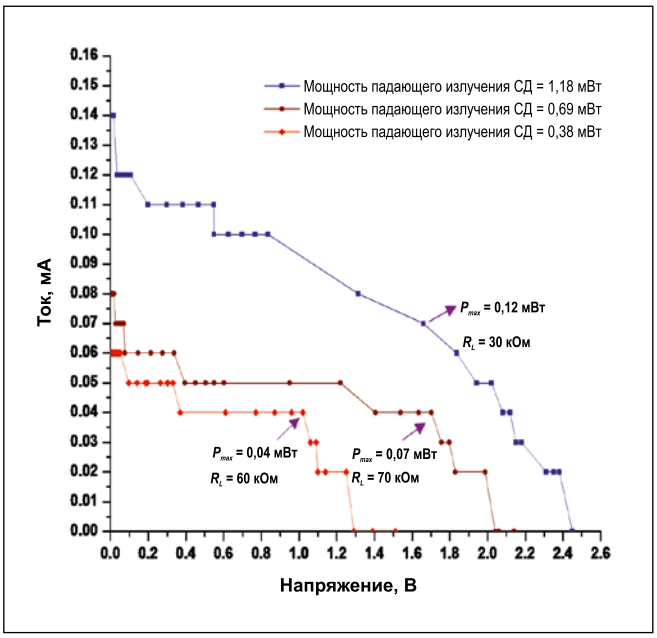


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики солнечной понели при разных значениях оптической мощности падающего излучения белого СД

В данной работе описан недорогой экспериментальный вариант системы *VLC*, обеспечивающей скорость передачи данных 5,78 кбит/с и дальность связи 1,10 м, с передатчиком, в котором использованы амплитудная манипуляция, и приёмником, в котором использована солнечная панель. При проектировании приёмника учтены помехи, создаваемые в помещениях отражённым солнечным светом и светом люминесцентных ламп, что позволило улучшить воспроизведение сигнала. Анализ работы предлагаемой системы был проведён применительно к выходному напряжению солнечной панели для разных дальностей связи и разных значений оптической мощности, попадающей на солнечную панель.

2. Описание предлагаемой системы *VLC*, использующей приёмник на солнечной панели

В принципе, система *VLC* состоит из двух основных частей: передатчи-

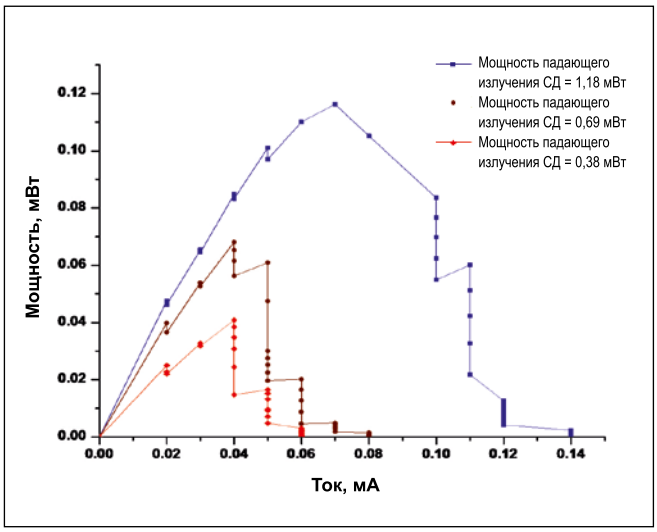


Рис. 5. Ватт-амперные характеристики солнечной понели при разных значениях оптической мощности падающего излучения белого СД

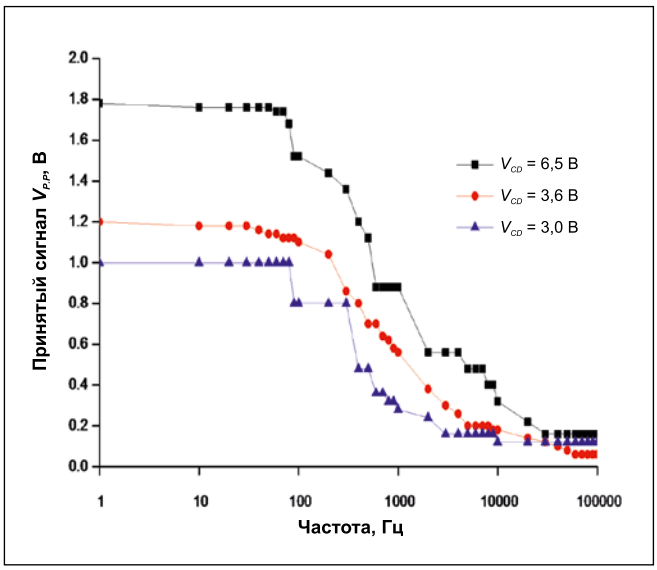


Рис. 6. Частотные характеристик солнечной панели при разных значениях напряжения на белом СД

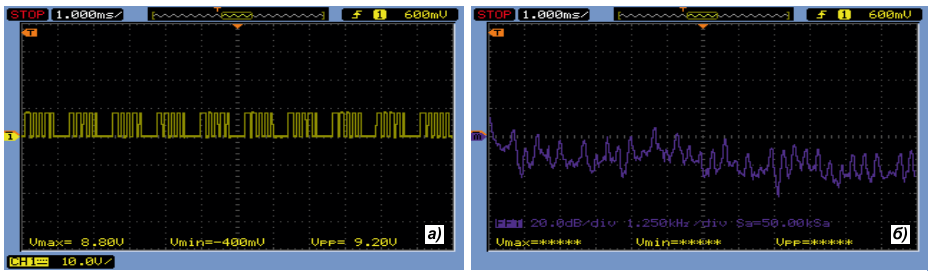


Рис. 7. Форма (а) и спектр (б) переданного входного сигнала

ка и приёмника. Между передатчиком и приёмником расположен канал связи прямой видимости. На рис. 1 приведена блок-схема предлагаемой системы *VLC*, в приёмнике которой используются солнечная панель и устройства для уменьшения помех, создаваемых внешней засветкой.

2.1. Передатчик

Для передатчика был выбран имеющийся в продаже мощный белый СД, цветовая температура которого была безопасна и приятна для глаз человека. Сила света в направлении угла ϕ описывается выражением:

$$I(\varphi) = I(0)\cos^m(\varphi), \qquad (1)$$

где m – порядок косинусного распределения излучения, который связан с половиной угла излучения СД на уровне половинной мощности $\varphi_{1/2}$ выражением:

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln\left(\cos\phi_{1/2}\right)}. \qquad (2)$$

Горизонтальная освещённость в точке (x, y) описывается выражением:

$$E_{hor} = I(0)\cdot\cos^m(\phi)/d^2\cdot\cos(\psi), \qquad (3)$$

где $I(0)$ – центральная сила света СД, ϕ – угол излучения, ψ – угол падения, d – расстояние между передатчиком и приёмником.

Использовался источник света мощностью 1 Вт с углом излучения 90°, прямым током 0,35 А, рассеиваемой мощностью 1,6 Вт и световым потоком 80 лм. Модуляция излучения СД осуществлялась посредством амплитудной манипуляции. Для улучшения дальности связи в передатчике имелся отражатель. Принципиальная схема предлагаемого передатчика системы *VLC* приведена на рис. 2.

2.2 Канал прямой видимости

В данной работе считается, что между передатчиком и приёмником расположен атмосферный канал. Усиление канала прямой видимости по постоянной составляющей описывается выражением:

$$H(0) = \begin{cases} \dfrac{A\cdot(m+1)}{2\cdot\pi\cdot d^2}\cdot\cos^m(\theta)\times \\ \times\ \cos(\psi), 0\le\psi\le\psi_c \\ 0, \psi > \psi_c \end{cases}, \qquad (4)$$

где d – расстояние между передатчиком и приёмником, ψ – угол падения относительно оси приёмника, ψ_C – поле зрения приёмника.

Мощность падающего на приёмник излучения описывается выражением:

$$p_r = H(0)\cdot p_t, \qquad (5)$$

где $H(0)$ – усиление канала по постоянной составляющей, p_t – оптическая мощность, излучаемая СД.

2.3. Приёмник

В принципе, приёмник состоит из следующих основных частей: солнечной панели и устройств, осуществляющих преобразование сигналов (рис. 3). Солнечные панели предназ-

начены, в первую очередь, для преобразования излучаемой солнцем оптической энергии. С другой стороны, солнечные панели можно использовать и для приёма оптических сигналов, передаваемых СД. В этом случае преобразующий энергию приёмник системы *VLC* не содержит ни фотодиод, ни систему электропитания. В данной работе использовалась поликристаллическая кремниевая фотоэлектрическая солнечная панель размером 250×145x15 мм с КПД 10 %, которая была выбрана потому, что она является экономически выгодной и требует меньше места по сравнению с монокристаллической фотоэлектрической панелью. На выходе солнечной панели формируется слабый сигнал, в котором присутствуют многочисленные фоновые помехи, создаваемые внешней засветкой, а обеспечиваемая при этом дальность беспроводной связи оставляет желать лучшего. Поэтому важной частью нашей системы *VLC* является схема подавления помех, создаваемых внешней засветкой. Вначале солнечная панель приёмника преобразует оптический сигнал в электрический. Для обнаружения минимального напряжения, генерируемого внешней засветкой, используется адаптивный детектор минимального напряжения (*adaptive minimum voltage detector*). Для устранения этого минимального напряжения служит дифференциальный усилитель. Однако на этом этапе помехи, создаваемые внешней засветкой, устраняются не полностью. Поэтому был применён фильтр верхних частот Саллена-Ки с частотой среза 300 Гц, который обеспечил отсечку помех, создаваемых внешней засветкой. Для усиления амплитуды сигнала до требуемой величины используется двухкаскадный усилитель напряжения. И наконец, компаратор напряжения преобразует усиленный сигнал в цифровую форму. В результате, на стороне приёмника обеспечивается восстановление переданного сигнала.

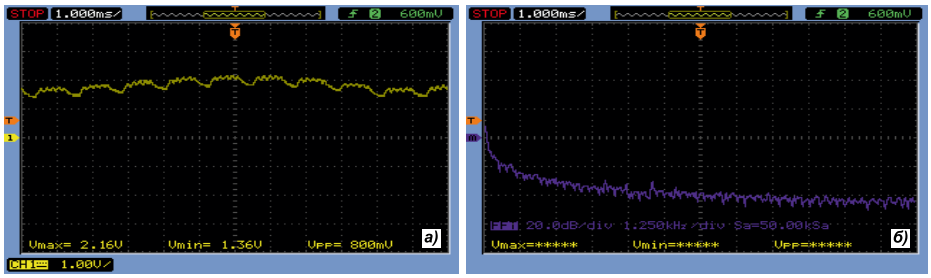


Рис. 8. Форма (а) и спектр (б) выходного сигнала солнечной панели

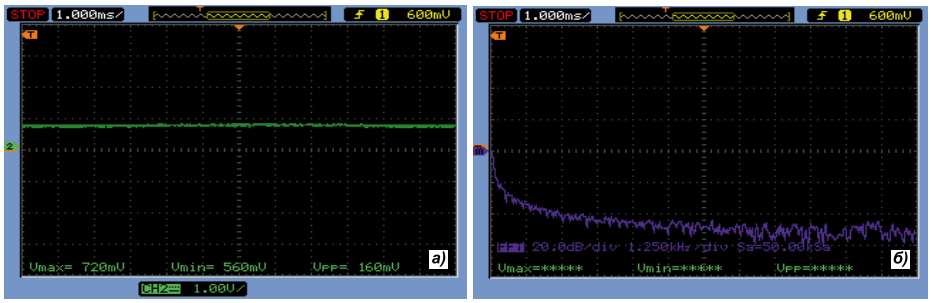


Рис. 9. Форма (а) и спектр (б) выходного сигнала, обусловленного солнечным светом

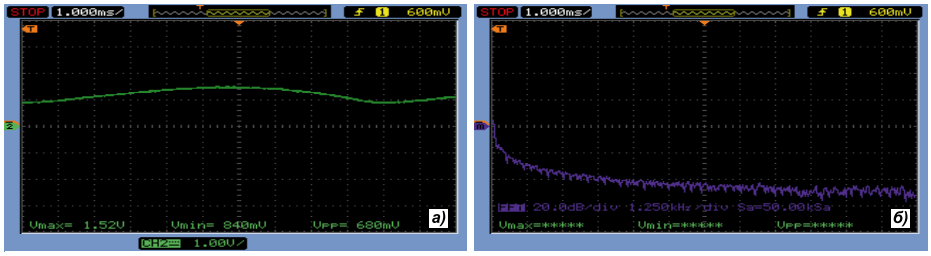


Рис. 10. Форма (а) и спектр (б) выходного сигнала, обусловленного солнечным светом и светом люминесцентных ламп

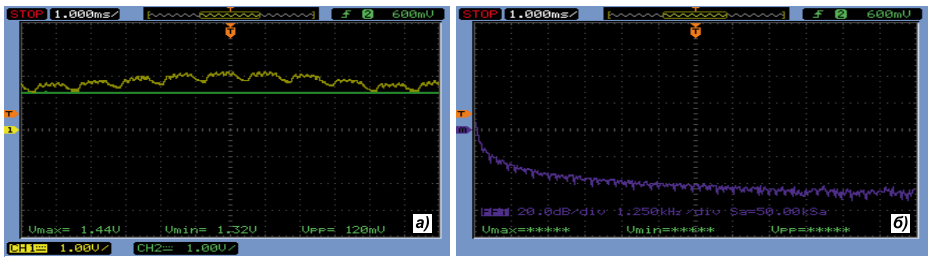


Рис. 11. Форма (а) и спектр (б) сигнала на выходе адаптивного детектора минимального напряжения

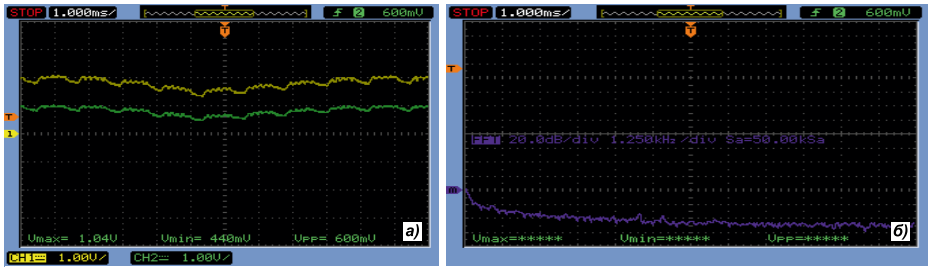


Рис. 12. Форма (а) и спектр (б) сигнала на выходе дифференциального усилителя

2.3. Характеристики солнечной панели

Использовалась поликристаллическая кремниевая фотоэлектрическая солнечная панель размером 250×145x15 мм с КПД 10 %. На рис. 4 приведены вольт-амперные характеристики этой солнечной панели при разных значениях оптической мощности, поступающей от белого СД. Приведённые на рис. 5 значения электрической мощности солнечной панели были получены умножением тока на напряжение. В первом случае поступающая оптическая мощность равна 0,38 мВт, а максимальная электрическая мощность, генерируемая солнеч-

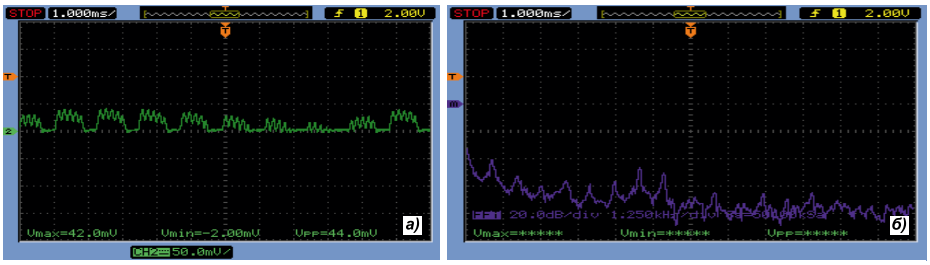


Рис. 13. Форма (а) и спектр (б) сигнала на выходе фильтра верхних частот

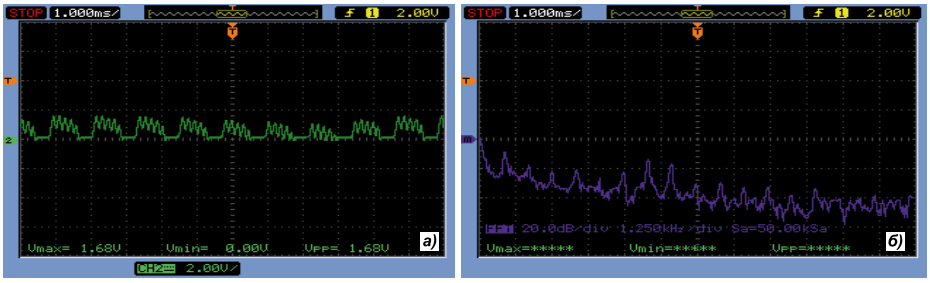


Рис. 14. Форма (а) и спектр (б) сигнала на выходе первого каскада усилителя напряжения

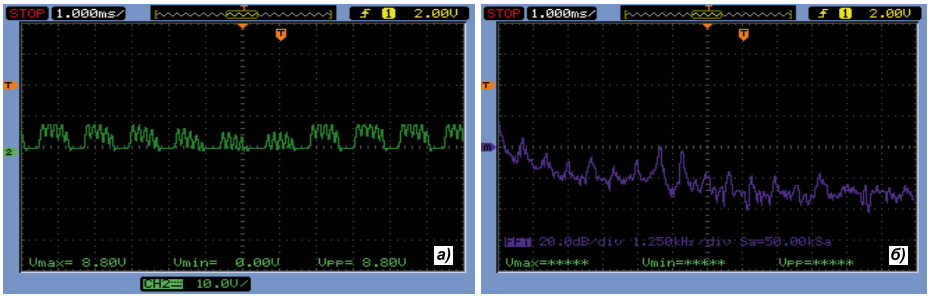


Рис. 15. Форма (а) и спектр (б) сигнала на выходе второго каскада усилителя напряжения

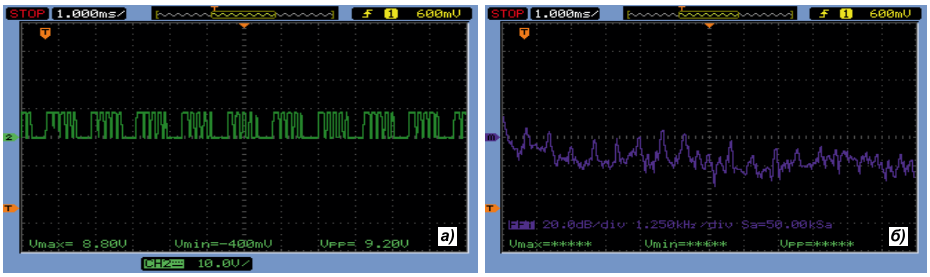


Рис. 16. Форма(а) и спектр (б) сигнала на выходе компаратора напряжения

ной панелью, равна 0,04 мВт при равном 60 кОм сопротивлении нагрузки. Так что КПД преобразования оптической энергии в электрическую оказался равным 9,5 %. Во втором случае оптическая мощность увеличилась до 0,69 мВт, а максимальная электрическая мощность, генерируемая солнечной панелью, возросла до 0,07 мВт при равном 70 кОм сопротивлении нагрузки. КПД преобразования оптической энергии в электрическую оказался равным 9,8 %. В третьем случае поступающая оптическая мощность стала равной 1,22 мВт, а максимальная электрическая мощность, генерируемая солнечной панелью, возросла до 0,12 мВт при равном 30 кОм сопротивлении нагрузки. КПД преобразования оптической энергии в электрическую оказался равным 9,83 %.

На рис. 6 приведены частотные характеристик солнечной панели при разных значениях напряжения на белом СД[2]. На рисунке видно, что максимально достижимая ширина полосы пропускания солнечной панели равна 10 кГц и что солнечная панель может принимать даже сигналы низкой частоты.

3. Эксперименты и результаты

Предлагаемая система *VLC* состоит из передатчика, беспроводного оптического канала и приёмника, в состав которого входит солнечная панель. Основной проблемой, отрицательно сказывающейся на работе системы передачи данных, являются помехи, создаваемые внешней засветкой солнечным светом и светом люминесцентных ламп. Поэтому для уменьшения помех была применена схема подавления помех. В результате, переданный сигнал восстанавливается приёмником с пониженным уровнем помех. Эксперименты проводились в лаборатории радиоэлектроники университета им. Б.С. Абдур Рахмана, так что исследовавшуюся систему *VLC* можно было считать комнатной. Эксперименты проводились при равной 5,78 Кбит/с скорости передачи данных и равном 1,10 м расстоянии между передатчиком и приёмником.

Исследовавшаяся экспериментально система *VLC* включала в себя передатчик, который при помощи белого СД осуществлял передачу сигнала с амплитудной манипуляцией, преобразуя электрический сигнал в модулированный по интенсивности оптический сигнал. На рис. 7 приведены форма и спектр преобразуемого электрического сигнала. Оптический сигнал передаётся по атмосферному каналу и принимается солнечной панелью. На рис. 8 приведены форма и спектр выходного сигнала солнечной панели. Выходной сигнал солнечной панели включает в себя результаты воздействия внешней засветки. В предлагаемой нами системе *VLC* источниками помех служат отражённый солнечный свет и свет люминесцентных ламп, работающих с обычными ПРА. Отражённый солнечный свет приводит к формированию в солнечной панели сильного постоянного тока. На рис. 9 приведены форма и спектр выходного сигнала, обусловленного отражённым солнечным светом, попадающим в помещение, в котором проводились эксперименты. На рис. 10 приведены форма и спектр выходного

[2] Приведённые на рис. 6 значения напряжения на СД (3,0; 3,8 и 6,5 В) вызывают удивление, т.к. напряжение на СД – величина относительно постоянная, а его мощность регулируется величиной протекающего через СД тока. – Прим. пер.

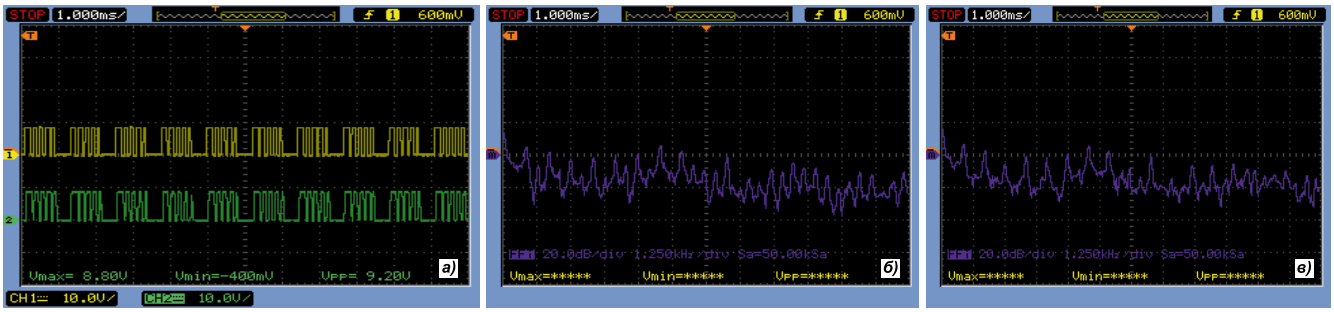


Рис. 17. Формы сигнала на входе передатчика и сигнала на выходе приёмника (а) и спектры сигнала на входе передатчика (б) и сигнала на выходе приёмника (в)

сигнала, обусловленного отражённым солнечным и светом люминесцентных ламп. Выпрямленный синусоидальный сигнал соответствует свету люминесцентных ламп, работающих с обычными ПРА.

Для отслеживания минимального напряжения сигнала, обусловленного воздействием внешней засветки, используется адаптивный детектор минимального напряжения. На рис. 11 приведены форма и спектр сигнала на выходе адаптивного детектора минимального напряжения. Для уменьшения этого минимального напряжения используется дифференциальный усилитель. На рис. 12 приведены форма и спектр сигнала на выходе дифференциального усилителя. Так как эти меры не приводят к полному подавлению воздействия внешней засветки, то для дальнейшего подавления помех используется фильтр верхних частот Саллена-Ки. На рис. 13 приведены форма и спектр сигнала на выходе фильтра верхних частот. Для преобразования слабого сигнала в сигнал достаточно большой амплитуды используется двухкаскадный усилитель напряжения. На рис. 14 и 15 приведены формы и спектры сигналов на выходе, соответственно, первого и второго каскадов этого усилителя. Усиленный сигнал преобразуется в цифровой сигнал при помощи компаратора напряжения. На рис. 16 приведены форма и спектр сигнала на выходе компаратора напряжения. В результате, приёмник восстанавливает переданный сигнал. На рис. 17 приведены формы и спектры сигнала на входе передатчика и сигнала на выходе приёмника. На рис. 18 показан испытательный стенд с предлагаемой системой *VLC*, а на рис. 19 приведена зависимость выходного напряжения солнечной панели от расстояния между передатчиком и приёмником при изменении последнего в пределах до 1,10 м. Как следует из рис. 19, напряжение на выходе приёмника уменьшается обратно пропорционально увеличению расстояния между передатчиком и приёмником. Максимальная дальность связи, которую можно обеспечить в случае предлагаемой системы *VLC* равна 1,10 м.

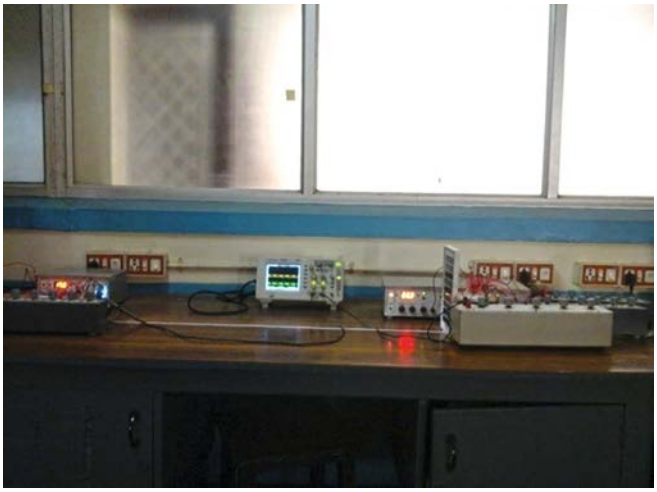


Рис. 18. Испытательный стенд с предлагаемой системой *VLC*, в которой в качестве приёмника используется с солнечная панель

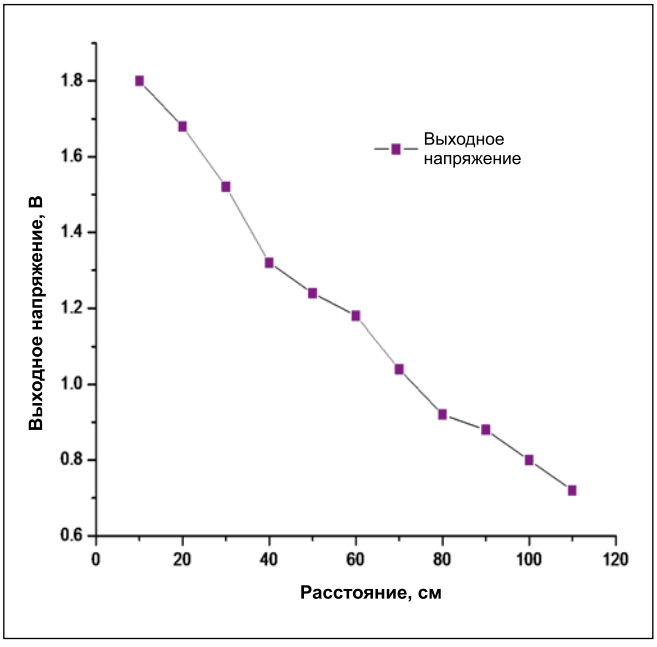


Рис. 19. Зависимость выходного напряжения солнечной панели от расстояния между передатчиком и приёмником

На рис. 20 приведена зависимость мощности оптического излучения, попадающего на солнечную панель, от расстояния между передатчиком и приёмником при изменении последнего в пределах до 1,10 м. На рис. 20 видно, что при увеличении расстояния между передатчиком и приёмником мощность принятого излучения СД уменьшается.

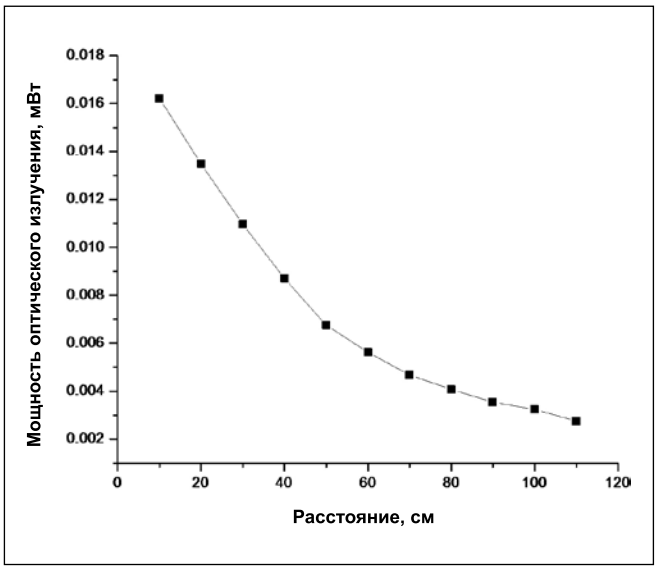


Рис. 20. Зависимость мощности оптического излучения, попадающего на солнечную панель, от расстояния между передатчиком и приёмником

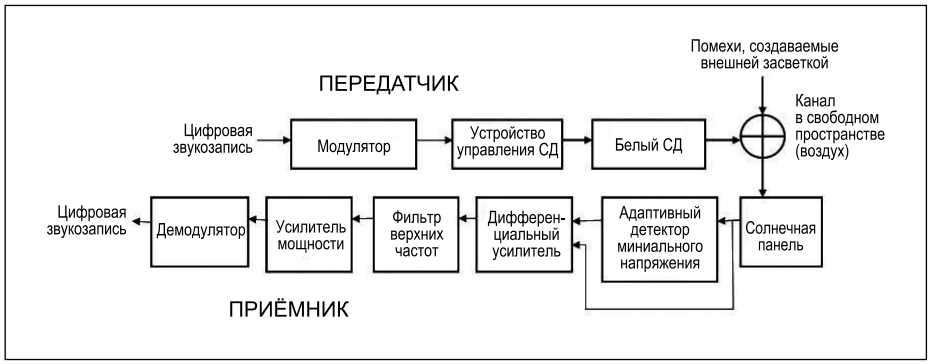


Рис. 21. Модифицированная для передачи аудиосигналов блок-схема предлагаемой системы *VLC*, в которой в качестве приёмника используется с солнечная панель

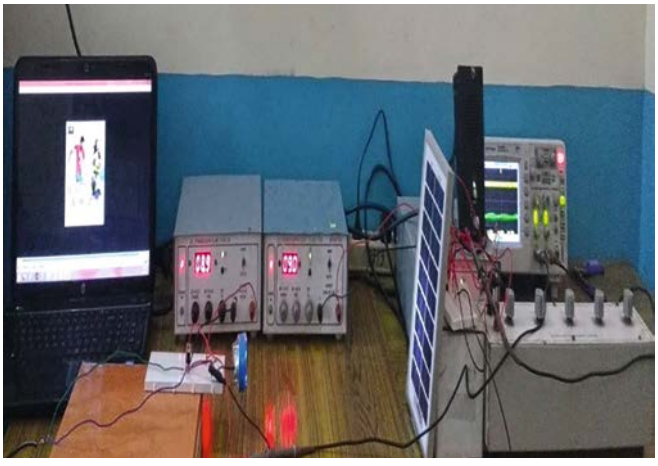


Рис. 22. Испытательный стенд с предлагаемой системой *VLC* для передачи аудиосигналов

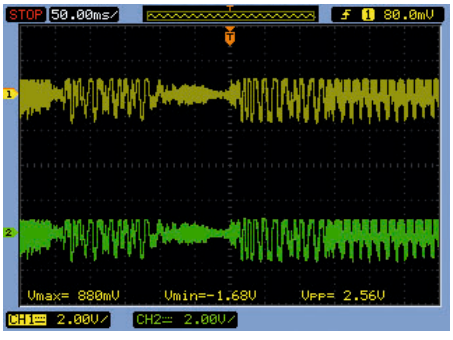


Рис. 23. Записанные формы переданных и принятых музыкальных сигналов

4. Передача аудиосигналов системой *VLC*

На рис. 21 приведена модифицированная для передачи аудиосигналов блок-схема предлагаемой системы *VLC*, в которой в качестве приёмника используется солнечная панель.

Эта система передачи аудиосигналов состоит из передатчика, атмосферного канала и приёмника. Передатчик включает в себя стандартный 3,5-мм аудиоразъём, обеспечивающий поступление аудиосигнала *MP3* от портативного компьютера, и транзистор *TIP31*, который служит для обеспечения передачи аудиосигнала белым СД мощностью 1 Вт, питающегося от источника питания постоянного тока с напряжением 9 В. При помощи белого СД передатчик преобразует электрические аудиосигналы в импульсы света. Сигнал проходит по атмосферному каналу и принимается солнечной панелью. Сигнал на выходе солнечной панели имеет очень малую амплитуду, а на его качество отрицательно влияют помехи, создаваемые внешней засветкой солнечным светом и светом люминесцентных ламп с обычными ПРА. В предлагаемой системе для передачи аудиосигналов используется та же схема подавления создаваемых внешней засветкой помех, которая использовалась в описанной выше системе *VLC*. Для отслеживания минимального напряжения сигнала, обусловленного воздействием внешней засветки, используется адаптивный детектор минимального напряжения, а для удаления этого минимального напряжения используется дифференциальный усилитель.

Однако эти меры не приводят к полному подавлению воздействия внешней засветки, и для дальнейшего подавления помех используется фильтр верхних частот Саллена-Ки с равной примерно 300 Гц частотой среза. Сигнал с уменьшенным уровнем помех оказывается очень слабым. Поэтому его усливают, и в результате приёмник восстанавливает переданный музыкальный сигнал. При этом удалось достичь равного 0,40 м расстояния между передатчиком и приёмником.

5. Выводы

Разработана система *VLC*, в которой в качестве приёмника исполь-

зуется солнечная панель и которая обеспечивает подавление помех, создаваемых внешней засветкой. Применительно к передаче двоичных данных были обеспечены равная 5,78 кбит/с скорость передачи данных и равное 1,10 м расстояние между передатчиком и приёмником. Успешно обеспечив передачу и приём данных, мы использовали эту же схему подавления создаваемых внешней засветкой помех и в приёмнике системы передачи музыкальных файлов *MP3*, получив при этом равное 0,40 м расстояние между передатчиком и приёмником. В результате, благодаря использованию солнечной панели была реализована экологически безопасная система передачи данных видимым светом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shinichiro Haruyama*. Advances in Visible Light Communication Technologies//ECOC Technical Digest, 2012.

2. *Cheong, Y., Weing, X., YounChung, W.* Hazardless Biomedical Sensing Data Transmission Using VLC// IEEE Sensors Journal. – 2013. – Vol. 13. – P. 3347–3348.

3. *Rust, C., Asada, H.H.* A dual-use visible light approach to integrated communication and localization of underwater robots with application to non-destructive nuclear reactor inspection//IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 14–18 May 2012, P. 2445–2450.

4. *Yoo, J., Lee, R., Oh, J., Seo, H., Kim, J., Kim, H., Yoon Jung, S.* Demonstration of Vehicular Visible Light Communication Based on LED Headlamp// Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2–5 July 2013, P. 465–467.

5. *Chow, C.W., Yeh, C.H., Liu, Y.F., Huang, P.Y.* Mitigation of Optical Background Noise in Light-Emitting Diode (LED) Optical Wireless Communication Systems// IEEE Photonics Journal. – 2013. – Vol. 5, No. 1.

6. *Chow, C.W., Yeh, C.H., Liu, Y.F., Huang, P.Y.* Background Optical Noises Circumvention in LED Optical Wireless Systems Using OFDM// IEEE Photonics Journal. – 2013. – Vol.5, No. 4.

7. *Nazmi Mohamed, A., Asmaa Aly, M., Ahmed, K., Aboul Seoud, Moustafa Aly, H.* Indoor wireless optical communication systems: effect of ambient noise// Optical Engineering. – 2014. – Vol. 53, No. 5.

8. *Cailean, A., Cagneau, B., Chassagne, L., Popa, V., Dimian, M.* Evaluation of the noise effects on Visible Light Communications using Manchester and Miller coding//12th Int. Conf. on Development and Application Systems. 2014, May 15–17, Romania.

9. *Chang, C., Su, Y., Kurokawa, U., Ichoi, B.* Interference Rejection Using Filter-Based Sensor Array in VLC Systems// IEEE Sensors Journal. – 2012. – Vol. 12, No. 5. – P. 1025–1032.

10. *Kim, S., Won, J., Nahm, S.* Simultaneous reception of solar power and visible light communication using a solar cell//Optical Engineering. – 2014 – Vol. 53, No 4.

11. *Wang, Z., Tsonev, D., Videv, S., Haas, H.* On the Design of a Solar-panel Receiver for Optical Wireless Communications with Simultaneous Energy Harvesting// IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2015. – Vol. 33, No.8.

12. *Syuhaimi Ab-Rahman, M., Al-Hakim Azizan, L., Ramza, H., Musa, Z.* The Comparison of Experimental and Analytical Study of the Gaussian Intensity Distribution for Light Emitting Diodes Beam// Journal of Computer Science. 2012. – Vol.8, No.6. – P. 913–919.

13. *Zhao, Z., Vongkulbhisal, J.* Design of Visible Light Communication Receiver for On-Off Keying Modulation by Adaptive Minimum-Voltage Cancelation// Engineering Journal. – 2013. – Vol.17, No. 10.

Б. Виджаялакшми (B. Vijayalakshmi), *Dr. Профессор факультета электроники и связи Университета им. Б.С. Абдур Рахмана, Ченнаи, Индия. Область научных интересов: обработка изображений, передача данных видимым светом, анализ восприятия изображений, формирование трёхмерных сцен. Автор более чем 24-х научных работ*

К. Синдхубала (K. Sindhubala), *M. Sc. Место работы – факультет электроники и связи Университета им. Б.С. Абдур Рахмана, Ченнаи, Индия. Область научных интересов: передача данных видимым светом. Автор более чем 5 научных работ*

Сверхмощные светильники со светодиодами «Росэлектроники» будут протестированы нефтяниками

Уличные светильники мощностью 500 Вт, разработанные Объединённым холдингом «Росэлектроника» Госкорпорации «Ростех», пройдут эксплуатационные испытания на площадках томской компании «Газпромнефть-Восток».

Приборы предназначены для освещения специальных и крупных площадей, таких как складские помещения, самолётные ангары, судовые верфи, сборочные самолетостроительные цеха и другие территории с высотой потолков выше 20 м. Ожидается, что испытания завершатся в августе

Световой поток светильника «Росэлектроники» составляет 55 тыс. лм. Корпус светильника получается методом экструзии, путём продавливания вязкого материала через формующее отверстие. Оригинальная форма предотвращает налипание снега, оседание пыли, что обеспечивает стабильный коэффициент теплопередачи.

Светильники разработаны НИИ полупроводниковых приборов (НИИПП), входящим в холдинг «Росэлектроника», на основе ранее созданной серии осветительного оборудования *SLED STREET* с диапазонами мощности 40–150 Вт и световым потоком 4–15 тыс. лм. Единый для всей серии корпус демонстрирует уникальное соотношение светового потока и массогабаритных показателей.

В изделиях разной мощности серии *SLED STREET* световой поток формируется разными способами. Так, в светильниках мощностью 40–100 Вт задействованы отражатели из многослойного алюминия, аналогичного материалам, используемым в современных автомобилях для формирования головного света. При этом коэффициент отражения – 98,5 %. Конструкция светового модуля светильников позволяет обеспечивать равномерное освещение при расположении опор освещения с шагом свыше 30 м.

Световой поток светильников большей мощности – 150 и 500 Вт – с широким светораспределением – формируется за счёт применения в качестве излучателей светодиодов с направленным излучением.

www.llightrussia.ru
10.05.2017

Требования к энергетической эффективности, маркировке и экодизайну светотехнической продукции: европейский опыт

М.Л. АБРАШКИНА[1], Е.А. СЫСОЕВА[2]

[1] ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина», г. Саранск
[2] ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск
E-mail: sysoewa@mail.ru

В качестве единой мировой валюты будет киловатт-час.
Артур Кларк

Аннотация

В статье рассматриваются основные европейские законы, регламентирующие вопросы, связанные с энергетической эффективностью, маркировкой и экодизайном светотехнической продукции.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, маркировка, экодизайн, директива Европейского союза, регламент Европейского союза, светотехническая продукция, классы энергетической эффективности, экомаркировка.

Основными задачами единой энергетической политики в Европейском союзе (ЕС) являются изменение структуры потребления энергии в пользу возобновляемых источников, повышение энергоэффективности, снижение объёма выбросов парниковых газов, создание единого энергетического рынка и содействие развитию на нём конкуренции.

В декабре 2008 г. саммит ЕС утвердил Программу по борьбе с изменениями климата на период 2013–2020 гг. (так называемый План «20–20–20»). Этот план предусматривает к 2020 г. повышение до 20 % доли энергии из возобновляемых источников в общей структуре энергопотребления, сокращение на 20 % от уровня 1990 г. объёма загрязняющих выбросов в атмосферу, сокращение на 20 % общих энергозатрат. План «20–20–20» нацелен на то, чтобы сделать экономику ЕС энергоэффективной и при этом снизить потребление топлива.

С 1 января 2014 г. в ЕС началась реализация новой программы по научно-технологическому и инновационному развитию «Горизонт 2020», которая объединяет в себе рамочные программы ЕС по научным исследованиям и разработкам, по конкурентоспособности и инновациям. Приоритет отдаётся высокоэффективным эко-, нано-, био- и инфо-технологиям, сосредоточенным на решении социальных и экологических проблем, в числе которых безопасная, чистая и эффективная энергетика, изменение климата, эффективное использование ресурсов и сырья.

ЕС применяет комплексный подход к формированию правовой базы в области энергоэффективности, маркировки и экодизайна. Основными видами правовых документов, используемых в ЕС, являются директивы и регламенты Европейского Парламента и Совета ЕС, которые являются обязательными для всех производителей продукции государств – членов ЕС, причём имеет место тенденция, в соответствии с которой наибольшее количество принимаемых регламентов и директив посвящено именно электроприборам, в перечень которых входят светотехнические изделия. Проведение эффективной политики в области энергосбережения в России сегодня невозможно без ориентации на директивы и регламенты ЕС.

Важным фактором в содействии потребителям в правильном выборе высокоэффективных светотехнических изделий из существующего многообразия является маркировка энергоэффективности, которая является такой же значимой характеристикой конкурентоспособности продукции, как качество и надёжность, и указание которой введено в качестве обязательного требования к маркировке продукции.

В последние несколько лет Европейский парламент внёс ряд дополнений и изменений в ранее принятые директивы и регламенты относительно энергоэффективности, маркировки и экодизайна бытовых электроприборов. Новая директива Европейского парламента и Совета ЕС № 2010/30/EU [1], которая является базовой директивой, заменившей с 18 июня 2010 г. директиву № 92/75/EEC [2] по маркировке энергопотребляющей продукции этикеткой энергетической эффективности, и регламент (ЕС) № 874/2012 по маркировке электрических ламп и светильников этикеткой энергоэффективности [3], дополняющий директиву № 2010/30/EU, устанавливают, что этикетки энергоэффективности являются обязательными для всех бытовых электроприборов на внутреннем рынке ЕС. Согласно этим документам, информация на этикетках об энергетической эффективности бытовых ламп ранжируется по классам в зависимости от уровня энергоэффективности изделия: от *A* до *G*. Соответствующая информация на этикетках об энергетической эффективности бытовых ламп, которые продаются в европейских магазинах, помогает покупателю в выборе продукции.

В соответствии с регламентом (ЕС) № 874/2012 по маркировке этикеткой энергоэффективности электрических ламп и светильников, в ЕС были установлены ещё два класса энергоэффективности для продукции, которая отвечает по энергетическим показателям наивысшим требованиям рынка: A^+ и A^{++}. Если светильники имеют высший класс энергоэффективности (A^+ или A^{++}), то низшие классы (*E*, *F*, *G*) из этикетки для таких светильников должны быть исключены посредством их перечёркивания в этикетке, и наоборот, в случае, если светильники не могут иметь класс энергоэффективности, выше класса *B*, то высшие классы (A^+ и A^{++}) в этикетке перечёркиваются[1].

[1] Что касается РФ, то ещё в 2011 г. был разработан проект Технического регламента Таможенного союза «Об информировании потребителя об энергетической эффективности электрических энергопотребляющих устройств» (http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Pages/InformEnergy.aspx), но он до сих пор не принят. На территории РФ действует ГОСТ Р 54993–2012 «Лампы бытовые. Показатели энергетической эффективности», в котором классы A^+ и A^{++} не предусмотрены. – Прим. ред.

Таблица 1

Световые потоки энергоэффективных ламп и мощности эквивалентных ламп накаливания [7]

Световой поток, лм			Мощность эквивалентной лампы накаливания, Вт
Компактные люминесцентные лампы	Галогенные лампы накаливания	Светодиодные и иные лампы	
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1 055	75
1 398	1 326	1 521	100
2253	2 137	2 452	150
3 172	3 009	3 452	200

На рис. 1 представлены приведённые в [3] примеры этикеток для электрических ламп и светильников, которые должны быть представлены в точках продаж.

Регламент (ЕС) № 2015/1428/ЕС [4] устанавливает требование, на основании которого на рынке должны присутствовать светильники, полностью совместимые с высокоэффективными лампами класса A^+. За принятием регламента (ЕС) № 2015/1428/ЕС и поправок в регламент (ЕС) № 1194/2012 [5] следует ожидать принятие директив и регламентов ЕС в части определения перечня показателей для установления классов энергетической эффективности A^+ и A^{++} для высокоэффективных источников света, к которым относится, например, светодиодная продукция, и разработки методов определения классов энергетической эффективности для таких источников света.

В 2005 году комиссией ЕС были приняты директива 2005/32/ЕС [6] и соответствующие регламенты (ЕС) № 244/2009 [7] и (ЕС) № 245/2009 [8], устанавливающие требования к экологичности энергопотребляющих изделий. В соответствии с этой директивой, производители должны предпринимать меры по уменьшению потребления энергии и других негативных воздействий на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла продукции. Данный подход получил название «экодизайн». Экодизайн является новой концепцией в странах ЕС, направленной на сокращение потребления электроэнергии бытовыми электроприборами. Экодизайн устанавливает требования к конструкции и параметрам бытовых электроприборов, в пределах которых они должны

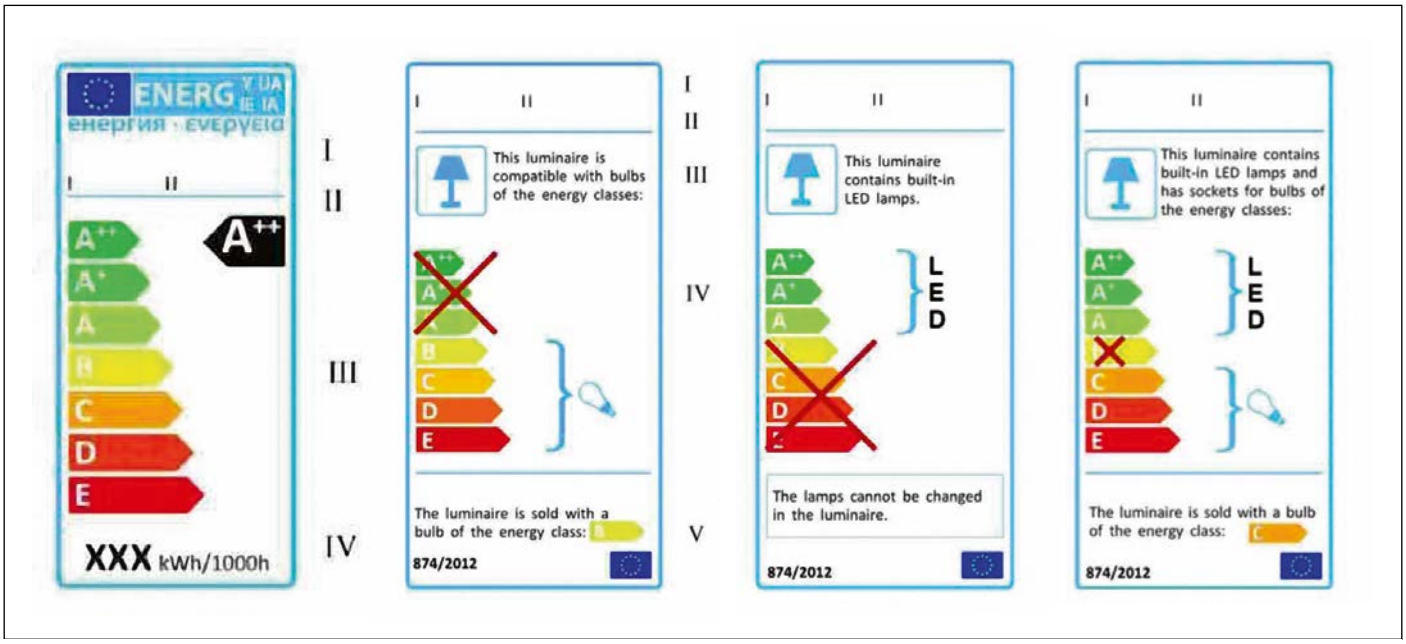


Рис. 1. Примеры этикеток [3]. а – для электрических ламп; б – для светильника, совместимого с лампами классов энергопотребления *B*, *C*, *D*, *E*, укомплектованного лампами класса энергетической эффективности *B*; в-для светильника, совместимого со встроенными незаменяемыми светодиодными лампами; г – для светильника, содержащего встроенные светодиодные лампы и патроны для заменяемых ламп классов энергопотребления *A*++, *A*+, *A*, *C*, *D*, *E*, укомплектованного лампами класса энергопотребления *C*

работать, чтобы не оказывать вредное воздействие на окружающую среду (ограничение применения и сокращение содержания токсичных веществ) и быть энергоэкономичными. Согласно директиве 2005/32/ЕС, изготовитель должен наносить на упаковку или на само изделие информацию, касающуюся экологичности изделия и уровня его энергоэффективности, что позволяет потребителям сравнивать различные изделия перед покупкой. Бытовые электроприборы, к которым относятся и светотехнические изделия, оказывают определённое воздействие на окружающую среду в течение всего жизненного цикла, который охватывает использование сырья, различных материалов и природных ресурсов, процесс производства продукции, упаковки, транспортировки, продажи, эксплуатации и утилизации. Кроме того, экодизайн позволяет снизить потребление энергетических ресурсов, что является важной составляющей политики ЕС. Кроме того, следует отметить, что в [7] было впервые официально сформулировано требование, согласно которому «если на упаковке энергосберегающей лампы указывается её эквивалентность обычной лампе накаливания, то должна указываться та эквивалентная мощность лампы накаливания, которая согласно табл. 1 соответствует световому потоку лампы, содержащейся в упаковке».

В целях расширения сферы действия директивы 2005/32/ЕС в 2009 году была принята директива ЕС 2009/125/ЕС [9] относительно требований к экодизайну светильников направленного света, светодиодных ламп и сопутствующего оборудования. Согласно указанной директиве, для каждого этапа жизненного цикла продукции экологические аспекты должны быть оценены по следующим параметрам: ожидаемый расход сырья, материалов, энергии и других ресурсов; ожидаемые выбросы в атмосферу, воду или почву; загрязнения через физические факторы, такие как шум, вибрация, излучение, электромагнитные поля; возможность повторного использования и утилизации материалов. Требования директивы 2009/125/ЕС по экодизайну в полной мере относятся к светотехническим изделиям (содержание и эмиссия ртути, выбросы углекислых газов в атмосферу, электромагнитная совместимость и т.д.). При этом существующие требования к маркировке продукции этикеткой энергетической эффективности, в также добровольное нанесение экологической этикетки, применяются наряду с требованиями, установленными директивами по экодизайну.

Рис. 2. Экологическая этикетка ЕС

В ЕС решением 2002/747/ЕС [10] устанавливается добровольная экомаркировка источников света. Изготовители могут изображать «Цветок ЕС» (рис. 2), присуждаемый изделиям, наиболее благоприятным для окружающей среды, если они удовлетворяют требованиям [10] в отношении экомаркировки. Для получения права на экомаркировку необходимо выполнение ряда обязательных условий, а именно:

– изделие должно соответствовать высокому классу энергетической эффективности, как минимум, классу *A*;

– в изделии должно быть ограниченно применение опасных веществ. Так, в разрядных лампах содержание ртути не должно превышать значений, установленных директивой 2002/95/ЕС [11].

Кроме того, должны быть выполнены определённые требования по эксплуатационным параметрам, таким как срок службы, световой поток, и другим параметрам, определяющим качественные характеристики ламп.

Европейский опыт свидетельствует, что требования к энергоэффективности светотехнической продукции существенно изменяются с течением времени, становясь всё более строгими, что подтверждает постоянное принятие новых директив и регламентов, а также внесение поправок в действующие нормативные документы.

Непрерывный мониторинг директив и регламентов, действующих в ЕС, позволит российским производителям светотехнической продукции учитывать все требования европейского рынка, в том числе по энергоэффективности, маркировке и экодизайну, что, в конечном счёте, будет способствовать увеличению экспорта светотехнической продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DIRECTIVE2010/30/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products (Директива об указании в маркировке и в стандартной информации об изделии информации о потреблении энергопотребляющими изделиями энергии и других ресурсов) // Official Journal of the European Union. – 18.06.2010. – L 153. – P. 1–12.

2. COUNCIL DIRECTIVE92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances (Директива об указании в маркировке и в стандартной информации об изделии информации о потреблении бытовыми электрическими приборами электроэнергии и других ресурсов) // Official Journal of the European Union. – 13.10.1992. – L 297. – P. 16–19.

3. Commission Delegated Regulation (EU) No 874/2012 of 12 July 2012 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of electrical lamps and luminaires (Делегированный регламент, дополняющий директиву 2010/30/EU в отношении энергетической маркировки электрических ламп и светильников) // Official Journal of the European Union. – 26.09.2012. – L 258. – P. 1–20.

4. COMMISSION REGULATION (EU) 2015/1428 of 25 August 2015 amending Commission Regulation (EC) No 244/2009 with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps and Commission Regulation (EC) No 245/2009 with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EU) No 1194/2012 with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment (регламент о внесении изменений в регламент (EU) № 244/2009/ЕС в части требований к экодизайну бытовых ламп ненаправленного света и в регламент (EU)

№ 245/2009/EC в части требований к экодизайну люминесцентных ламп без встроенных пускорегулирующих аппаратов и светильников для этих ламп и отменяющий директиву 2000/55/EC и регламент (EU) № 1194/2012 в части требований к экодизайну ламп направленного света, светодиодных ламп и связанного с ними оборудования) // Official Journal of the European Union. – 27.08.2015. – L 224. – P. 1–9.

5. COMMISSION REGULATION (EU) No 1194/2012 of 12 December 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment (регламент по реализации директивы 2009/125/EC в отношении требований экодизайна к лампам направленного света, светодиодным лампам и сопутствующему оборудованию) // Official Journal of the European Union. – 14.12.2012. – L 342. – P. 1–22.

6. Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council (директива, определяющая структуру для установления требований экодизайна к энергопотребляющей продукции и вносящая изменения в директивы 92/42/EEC, 96/57/EC и 2000/55/EC) // Official Journal of the European Union. – 22.07.2005. – L 191. – P. 29–58.

7. COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps (регламент по реализации директивы 2005/32/EC в отношении требований к экодизайну бытовых ламп ненаправленного света) // Official Journal of the European Union. – 24.03.2009. – L 76. – P. 3–16.

8. COMMISSION REGULATION (EC) No 245/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council (регламент по реализации директивы 2005/32/EC в отношении требований к экодизайну люминесцентных ламп без встроенных пускорегулирующих аппаратов, газоразрядных ламп высокого давления, а также пускорегулирующих аппаратов и светильников, способных работать с такими лампами) // Official Journal of the European Union. – 24.03.2009. – L 76. – P. 17–44.

9. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (директива, определяющая структуру для установления требований экодизайна к энергопотребляющей продукции) // Official Journal of the European Union. – 31.10.2009. – L 285. – P. 10–35.

10. Decision 2002/747/EC (OJ: L242/44/2002) establishing revised ecological criteria for the award of the Community eco-label to light bulbs and amending Decision 1999/568/EC (решение о пересмотре экологических требований для использования ЕС экомаркировки ламп и о внесении изменений в решение 1999/568/EC) // Official Journal of the European Union. – 10.09.2002. – L 242. – P. 44–49.

11. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (директива об ограничении использования определённых опасных веществ при производстве электрического и электронного оборудования) // Official Journal of the European Union. – 13.02.2003. – L 37. – P. 19–23.

Абрашкина Марина Леонидовна. *Окончила МГУ им. Н.П. Огарёва (1981 г.). Заведующая лабораторией стандартизации ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина». Область научных интересов: исследование проблем стандартизации светотехнической продукции*

Сысоева Евгения Александровна, *доктор экономических наук. Окончила МГУ им. Н.П. Огарёва (1998 г.). Профессор кафедры статистики, эконометрики и информационных технологий в управлении ФГБОУ ВО «НИ МГУ им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: исследование проблем качества и конкурентоспособности светотехнической продукции*

Евразийская светотехническая премия «Золотой Фотон»

В июня 2017 г. компания «Лайтинг Бизнес Консалтинг» (ЛБК) при участии Минэнерго РФ объявила о старте Евразийской светотехнической премии «Золотой Фотон», которая призвана стать ежегодным мероприятием для участников светотехнического рынка стран Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭс).

В организационный комитет премии вошли Российская ассоциация энергосервисных компаний (РАЭСКО), Ассоциация производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Ассоциация «Честная позиция», компания *Messe Frankfurt Rus*.

Цель Евразийской светотехнической премии – определить лучшие компании светотехнической отрасли, ориентированные на создание инновационной и энергоэффективной продукции высокого качества.

В рамках премии объявлены следующие категории: «Продукт года (ЛЕД светильник) », «Продукт года (ЛЕД лампа) », «Проект года», «Компания года», «Признание отрасли», победителей в которых будет отбирать жюри, состоящее из двух комитетов. Вручение премий состоится в феврале 2018 г., а итоги будут опубликованы на сайте Минэнерго РФ и сайте премии.

http://light-award.ru
01.06.2017

ПОПРАВКИ

В № 2 журнала «Светотехника» за 2017 г. на с. 59 *вместо*

$$E_s^n\left(\vec{R}\right) \cong \frac{P_o \exp}{\pi \alpha_s^2 z_s^2} \exp\left(-\frac{R^2}{\alpha_s^2 z_s^2}\right)$$

следует читать

$$E_s^n\left(\vec{R}\right) \cong \frac{P_o}{\pi \alpha_s^2 z_s^2} \exp\left(-\frac{R^2}{\alpha_s^2 z_s^2}\right)$$

вместо «P_o и α_o » – «P_o и α_s »

и *вместо* «z_s и z_r – наклонные расстояния от источника излучения (вдоль оптической оси пучка излучения от точки наблюдения до центра оптического пятна на поверхности)» – «z_s – дальность от источника излучения до центра освещённого пятна на поверхности; z_r – дальность от центра освещённого пятна на поверхности до произвольной точки наблюдения».

Освещение тоннелей светильниками с мощными светодиодами на примере городского автодорожного тоннеля в г. Стамбуле

К. КАРАТЕКИН

Стамбульский технический университет, г. Стамбул, Турция
E-mail: karatekin@itu.edu.tr

Аннотация

В рамках данного исследования проведено проектирование установки со светильниками с мощными светодиодами (СД), предназначенной для освещения городского автодорожного тоннеля. Автоматизированная осветительная установка (ОУ) с СД обеспечивает ступенчатое изменение яркости дорожного покрытия. Проведённые исследования показали, что проект ОУ с СД обеспечивает уровни яркости, удовлетворяющие требованиям *CIE088:2004*.

Сравнительное исследование энергоэффективности ОУ с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) и ОУ с СД применительно к освещению автодорожных тоннелей было проведено на примере городского тоннеля в Стамбуле. Установлено, что светильники с СД обеспечивают 45,5 % экономию энергии по сравнению с НЛВД.

Ключевые слова: освещение автодорожных тоннелей, светильники с мощными СД, натриевые лампы высокого давления, энергоэффективность.

1. Введение

Тоннели часто используются на городских и междугородних автодорогах, так как они позволяют сократить путь и облегчают движение транспорта. Глаза водителей, адаптированные к окружающей среде и яркому дневному свету, воспринимают въезд в тоннель как тёмное отверстие и поэтому не способны полноценно видеть объекты на въезде в тоннель [1]. В то же время, ночью этой проблемы не существует, т.к. глаза уже адаптированы к темноте. Поэтому освещение тоннелей особенно важно в дневное время, когда следует принимать определённые предупредительные меры, обеспечивающие зрительную адаптацию водителей к тёмному тоннелю. Это в первую очередь относится к въездной зоне тоннеля. Освещение тоннелей должно обеспечивать необходимый минимальный уровень яркости, необходимый водителям для безопасного и комфортного движения на всём протяжении тоннеля. Требования безопасности, связанные с движением в тоннелях, были сформулированы в руководстве Международной комиссии по освещению (МКО) [2] и учитывались при проведении данного исследования.

В этой работе была для освещения городского тоннеля спроектирована осветительная установка (ОУ) со ступенчатым изменением яркости, в которой использовались светильники со светодиодами (СД), предназначенные для освещения тоннелей. В настоящее время в тоннеле работает ОУ с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД). В этой работе исследуется изменение энергоэффективности при замене светильников с НЛВД на светильники с СД.

Согласно отчёту, опубликованному Министерством энергетики США, замена используемых в настоящее время источников света на СД позволит США за ближайшие 20 лет сэкономить на электроэнергии $250 млрд, на 50 % уменьшит расходуемую на освещение энергию и на 1800 млн тонн – выбросы CO_2 [3].

Использование белых СД в ОУ предпочтительнее использования традиционных источников света по многим причинам, таким как их более высокая световая отдача, больший срок службы и, тем самым, меньшая потребность в техническом обслуживании, а также меньшие размеры оборудования, большие гибкость и возможность управления уровнем и цветом освещения и низкое энергопотребление [4]. На освещение приходится 20 % от общего мирового потребления энергии [5]. Использование СД позволит уменьшить это число на 4 % или даже больше. Ожидается, что за ближайшие десять лет СД станут основным источником света, и от обусловленного этим уменьшения энергопотребления и выброса парниковых газов выиграют все, включая потребителей, которые ежегодно будут экономить сотни долларов на плате за электроэнергию. Светильник с СД *Tunnel Pass LED* уменьшает потребление энергии по сравнению со светильниками с НЛВД на вплоть до 50 % и обеспечивает оптимальную равномерность освещения тоннелей и подземных переходов, имея при этом срок службы до 100000 ч.

Большая часть подводимой к кристаллам мощных СД энергии преобразуется в тепло, которое необходимо отводить от СД, тогда как оставшаяся часть энергии преобразуется в свет [6]. В результате рабочая температура СД является одним из самых существенных факторов, влияющих на надёжность и долговечность СД. Продолжительная работа СД при повышенных температурах ускоряет спад светового потока, тем самым уменьшая срок службы СД. И т.к. вырабатываемое тепло является чрезвычайно важно проблемой для светильников с мощными СД, то это тепло следует отводить при помощи соответствующих методов.

В тоннелях используются НЛВД, люминесцентные лампы и металлогалогенные лампы. Замена в железнодорожных тоннелях светильников с люминесцентными лампами на светильники СД привело к экономии энергии и облегчению технического обслуживания [7]. В другом исследовании было проведено сравнение работы разных светильников, таких как светильники с люминесцентными лампами, НЛВД и металлогалогенными лампами, при разных высотах подвеса, соответствующих их использованию в подводных и иных тоннелях [8, 8a].

Устройства управления СД позволяют осуществлять светорегулирование, что даёт пользователям возможность устанавливать желаемую величину светового потока. Имеются серии светильников с возможностью выбора светового потока, что позволяет обеспечить максимальную экономию энергии. Так светильники

Таблица 1

Диаметры окружностей зон поля адаптации

Угол α, град.	РБТ, м	Диаметр D, м
2	75	2,62
3	75	3,93
4	75	5,24
5,8	75	7,60
8	75	10,49
11,6	75	15,24
16,6	75	21,88
24	75	31,88
36	75	48,74
56,8	75	81,10

Tunnel Pass LED могут быть как потолочными, так и настенными, и предназначены для замены светильников с НЛВД мощностью 100 и 400 Вт. В данном исследовании было проведено сравнение энергоэффективности светильников с НЛВД мощностью 150 и 400 Вт и светильников с СД. В пороговой зоне тоннеля использовалась система встречного освещения, тогда как в остальных зонах использовалась система симметричного освещения. Из соображений безопасности автоматизированная ОУ проектировалась при условии исключения блёскости при въезде в тоннель.

2. Определение входных параметров для проектирования

Проектирование освещения тоннеля осуществлялось при помощи разработанной компанией *Schreder Company* программы *Tunnel v3* [9], позволяющей производить расчёты, проектировать и составлять отчёты в соответствии с рекомендациями [2]. В исследовании был рассмотрен расположенный в Стамбуле тоннель *Halit Ulukurt Tunnel*, который состоит из двух стволов. Первый ствол имеет длину 690 м, а второй – 720 м [10]. Полная ширина тоннеля равна 10 м, каждый ствол содержит две полосы движения шириной 3,75 м.

2.1. Расчёт расстояния безопасного торможения

Расстояние безопасного торможения (РБТ) – это расстояние, на котором водитель автомобиля, движущегося с постоянной скоростью, может безопасно остановиться при наличии препятствия перед ним [2]. Для расчёта РБТ требуется знание двух важных параметров:

– Проектная скорость движения в тоннеле.

– Наибольший проектный продольный уклон дороги в пределах тоннеля на въезде в тоннель и на выезде из тоннеля.

Расчёт РБТ производится по формуле (1). Первое слагаемое в правой части этого выражения представляет собой расстояние, пройденное за промежуток времени между моментом, в который водитель заметил находящееся перед ним препятствие, и моментом нажатия на тормоз. Второе слагаемое – это расстояние, пройденное автомобилем после начала торможения до его полной остановки.

$$\text{РБТ} = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)}, \qquad (1)$$

где u – проектная скорость движения в тоннеле, м/с, f – коэффициент трения, t_0 – время реакции, s – уклон дороги, g – ускорение свободного падения, м/с^2.

При расчётах РБТ использовались наиболее неблагоприятные значения уклона дороги (s = 0,5 %) и проектной скорости движения в тоннеле (u = 70 км/ч). Коэффициент трения считали равным 0,35, а время реакции – равным 1 с. При этом рассчитанное по формуле (1) значение РБТ равно:

$$\text{РБТ} = 75{,}25 \text{ м}. \qquad (2)$$

2.2. Расчёт яркости пороговой зоны

В основе всех расчётов освещения тоннелей лежит яркость в пороговой зоне L_{TH}. Её значение рассчитывают предложенным в [2] методом воспринимаемого контраста. Этот метод предполагает нанесение концентрических окружностей на «специальную фотографию», которую делают из точки, отстоящей на РБТ от въездного портала тоннеля. Эти окружности отображают «поле зрения водителя», и применительно к ним осуществляются последующие оценки яркости. В рамках этого метода на специальную фотографию наносят 10 концентрических окружностей [2].

Окружности были нанесены графическими методами для углов α = 2; 3; 4; 5,8; 8; 11,6; 16;6; 24; 36 и 56,8° (рис. 1). В табл. 1 приведены диаметры наносимых окружностей, рассчитанные с учётом ширины въездного портала тоннеля и соответствующих значений углов (рис. 1).

На рис. 2 показаны нанесённые на фотографию окружности. Окружности были разделены на части 12 линиями, проходящими через центр окружностей и отстоящими друг от друга на 30°. Соответствующие этим частям значения воспринимаемой

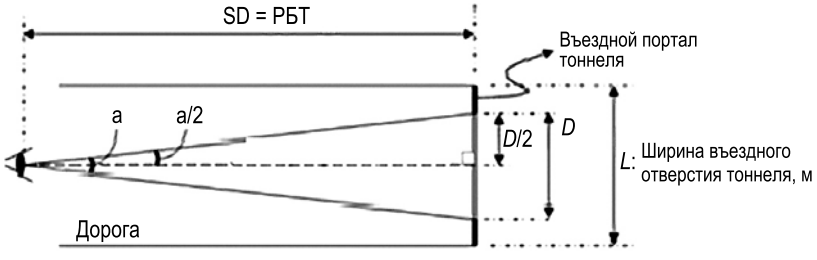


Рис. 1. Подъездная зона тоннеля, вид сверху

Таблица 2

Примеры значений яркости окружения портала тоннеля [2]

Направление движения (северное полушарие)	L_c (небо), ккд/м^2	L_r (дорога), ккд/м^2	L_e (окружение портала), ккд/м^2			
			Скалы	Здания	Снег	Растительность
С	8	3	3	8	15 (верт.) 15 (гор.)	2
В, З	12	4	2	6	10 (верт.) 15 (гор.)	2
Ю	16	5	1	4	5 (верт.) 15 (гор.)	2

яркости были рассчитаны с использованием параметров, приведённых в табл. 2. Окружности были пронумерованы цифрами от 1 до 9, отсчитываемыми от центральной точки. 12 участков, на которые были разделены окружности, были пронумерованы цифрами от 1 до 12, отсчитываемыми от верхней точки по часовой стрелке.

Требующееся для проведения расчётов значение полной эквивалентной вуалирующей яркости L_{seq} зависит от яркостей всех этих участков, образованных 10-ю окружностями и отстоящими друг от друга на 30° радиальными линиями, за исключением двух наибольших и двух наименьших участков. Последнее обусловлено тем, что эти участки считали не попадающими в поле зрения. В результате получаем:

$$L_{seq} = 5{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot \sum L_{ije}, \quad (3)$$

$$L_{ije} = \tau_{ws} \cdot L_{ij} + L_{ws}, \quad (4)$$

$$L_{TH} = \frac{L_m}{\frac{1}{c_m} \cdot \left(\frac{\rho}{\pi \cdot q_c} - 1 \right) - 1}, \quad (5)$$

$$L_m = \frac{\left(\tau_{ws} \cdot L_{atm} + L_{ws} + L_{seq} \right)}{\tau_{ws} \cdot \tau_{atm}}, \quad (6)$$

где L_{seq} – полная яркость эквивалентной вуали, кд/м^2; L_{ije} – яркости участков перед водителем, кд/м^2; L_{ij} – средняя яркость участка, измеренная перед лобовым стеклом за пределами автомобиля, кд/м^2; L_{ws} – «яркость поверхности» лобового стекла автомобиля, кд/м^2; L_m – полная яркость перед глазами водителя, кд/м^2; τ_{ws} – коэффициент пропускания лобового стекла автомобиля; ρ – коэффициент отражения; q_c – показатель обнаружения контраста; C_m – воспринимаемый контраст.

Если для какого-то участка измерения произвести не удалось, то использовались значения, приведённые в [2]. Коэффициент пропускания атмосферы считали равным $\tau_{atm} = 1$, коэффициент пропускания лобового стекла автомобиля – равным $\tau_{ws} = 0{,}8$, а коэффициент отражения опасного препятствия – равным $\rho = 0{,}2$. Показатель обнаружения контраста может быть равен как минимум 0,6 в случае системы встречного освещения и как максимум 0,2 в случае системы симметричного освещения. Яркости участков в поле адаптации приведены в табл. 2. Считается, что воспринимаемый контраст C_m является отрицательным, и его минимальное абсолютное значение равно 28 % [2]. В результате получаем:

$$L_{ije} = 146{,}58 \text{ кд/м}^2, \quad (7)$$

$$L_{seq} = 74{,}756 \text{ кд/м}^2. \quad (8)$$

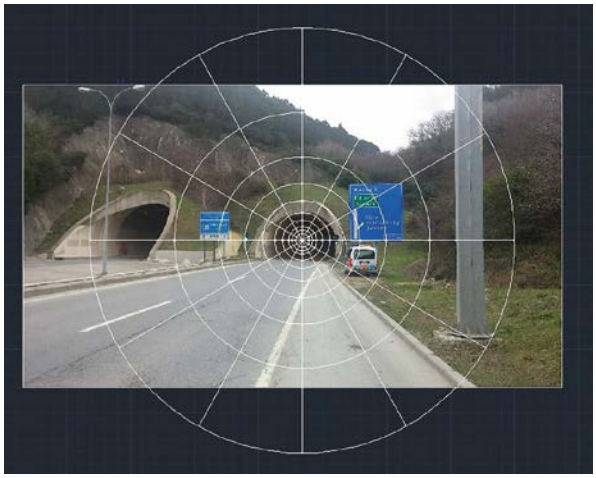


Рис. 2. Окружности, нарисованные на фотографии въездного портала тоннеля *Istanbul Beykoz*

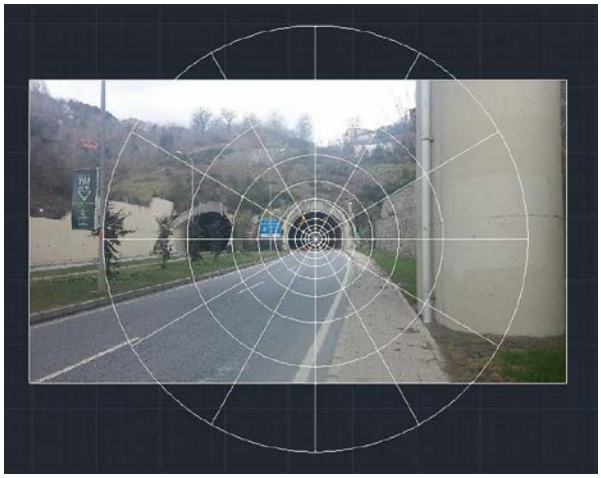


Рис. 3. Окружности, нарисованные на фотографии въездного портала тоннеля *Istanbul Kavacık*

Таблица 3

Значения яркостных параметров освещения внутренней зоны тоннеля в дневном режиме

Координаты положения условного наблюдателя (*x, y, z*), м	Яркостные параметры				
	Средняя яркость, кд/м^2	Мин. яркость /средн. яркость,%	Макс. яркость / средн. яркость,%	Мин. яркость, кд/м^2	Макс. яркость, кд/м^2
–60,00; 1,88; 1,50	3,48	69,06	50,78	2,4	4,73
–60,00; 5,63; 1,50	3,48	69,06	50,78	2,4	4,73

Таблица 4

Значение яркостных параметров освещения тоннеля в ночном режиме

Координаты положения условного наблюдателя (*x, y, z*), м	Яркостные параметры				
	Средняя яркость, кд/м^2	Мин. яркость /средн. яркость,%	Макс. яркость / средн. яркость,%	Мин. яркость, кд/м^2	Макс. яркость, кд/м^2
–60,00; 1,88; 1,50	1,74	69,06	50,78	1,2	3,37
–60,00; 5,63; 1,50	1,74	69,06	50,78	1,2	3,37

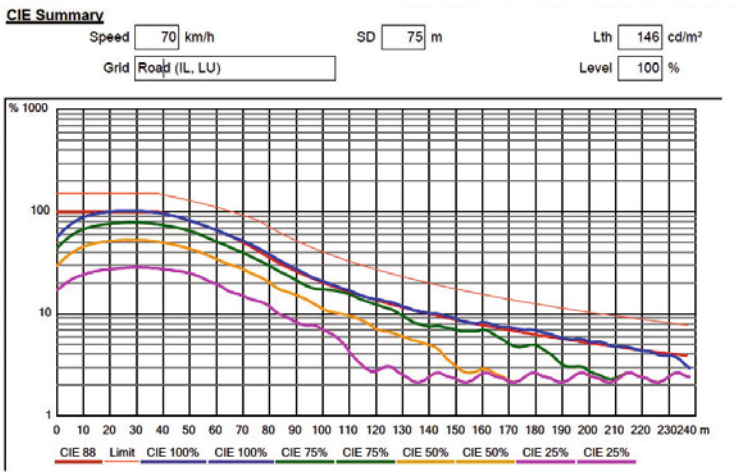


Рис. 4. Графики *CIE088* для первого ствола тоннеля

$$L_m = 320{,}94 \text{ кд/м}^2, \quad (9)$$

$$L_{TH} = 146{,}4 \text{ кд/м}^2. \quad (10)$$

Итак, было установлено, что в случае тоннеля *Beykoz* яркость в пороговой зоне L_{TH} равна 146, 4 кд/м^2. Однако для облегчения расчётов использовалось значение $L_{TH} \approx 146$ кд/м^2. Аналогичным образом, при расчётах, проводившихся применительно к тоннелю *Kavacık*, использовалось значение $L_{TH} \approx 133$ кд/м^2. Полученные в результате проведённых расчётов значения параметров приведены ниже:

L_{TH}: 146 кд/м^{2}в случае тоннеля Beykoz (первый ствол).

L_{TH}: 133 кд/м^{2}в случае тоннеля *Kavacık* (второй ствол).

$L_{внутренней\ зоны}$: 3.45 кд/м^2 (яркость во внутренней зоне тоннеля).

$L_{ночью}$: 1,74 кд/м^2 (яркость в случае ночного освещения).

2.3. Значения яркости при разных уровнях освещения

Осветительная установка была спроектирована таким образом, чтобы обеспечить ступенчатое изменение уровней яркости в тоннеле. В то же время, для создания наименьшего уровня яркости использовались наименее мощные светильники, что обеспечивало энергоэффективность и возможность получения нужного значения яркости.

Спроектированная установка обеспечивала шесть режимов, удовлетворяющих требованиям [2]: 100, 75, 50 и 25 % для пороговой зоны, а также дневной для внутренней зоны и ночной для всего тоннеля. Соответствующие разным режимам значения яркости в пороговой зоне первого ствола рассматриваемого тоннеля были равны:

– режим 100 %: $L_{100\,\%} = 146$ кд/м^2;
– режим 75 %: $L_{75\,\%} = 109{,}5$ кд/м^2;
– режим 50 %: $L_{50\,\%} = 73$ кд/м^2;
– режим 25 %: $L_{25\,\%} = 36{,}5$ кд/м^2;
– дневной режим: $L_{daytime} = 3{,}45$ кд/м^2;
– ночной режим: $L_{night} = 1{,}74$ кд/м^2.

Согласно [2], соответствующее дневному режиму для внутренней зоны значение яркости $L_{daytime}$ должно быть равно 3,48 кд/м^2 (табл. 3), тогда как обеспечиваемая в этом случае яркость во внутренней зоне тоннеля оказалась равной 3,45 кд/м^2. Т.к. 3,48 больше, чем 3,45, то в соответствии с [2] для дневного режима можно выбрать именно его.

В результате проведённых расчётов была определена соответствующая ночному режиму яркость L_{night}, которая оказалась равной 1,74 кд/м^2, и это же значение содержится в табл. 4.

Соответствие всех яркостных режимов требованиям [2] было проверено при помощи графиков МКО (рис. 4 и 5). Приведённые в [2] графики обозначены красным цветом и отражают

Таблица 5

Потребление энергии с учётом разных режимов работы [10]

Режим	Годовая продолжительность работы, ч	НЛВД		СДЛ	
		Мощность, Вт	Энергопотребление, кВт·ч	Мощность, Вт	Энергопотребление, кВт·ч
Ночной	8760	9399	82335	2925	25623
Дневной	4400	9399	41356	2925	12870
25 %	3500	8829	30902	7668	26838
50 %	2800	8828	24718	7542	21118
75 %	2000	8829	17658	8694	17388
100 %	1200	8828	10594	7716	9259
Всего			**207563**		**113096**

соответствующее идеальному проекту освещения распределение яркости на всём протяжении тоннеля. График предельных значений, имеющий оранжевый цвет, соответствует максимальным значениям яркости, которые не должны быть превышены ни на одном из участков. В дополнение к красному и оранжевому графикам, на рис 4 и 5 приведены графики для режимов 100, 75, 50 и 25 %, которые обозначены, соответственно, синим, зелёным, жёлтым и розовым цветом. Графики яркости, полученные в случае использования светильников с СД, приведены на рис. 4 и 5 для первого и второго ствола соответственно. В обоих случаях графики, соответствующие режиму 100 %, полностью повторяли графики яркости, приведённые в [2]. Было установлено, что в случаях как первого, так и второго ствола проект освещения и количества светильников удовлетворяли нормативным требованиям.

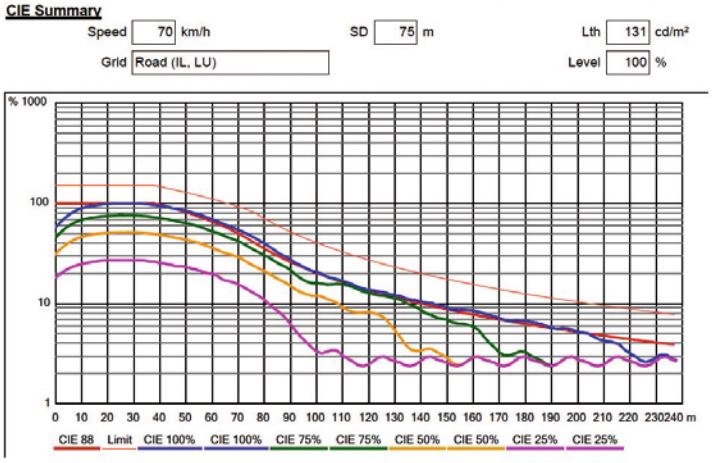


Рис. 5. Графики *CIE088* для второго ствола тоннеля

3. Сравнение светильников с мощными СД и светильников с НЛВД

Проект ОУ со светильниками с мощными СД был разработан при помощи программы *Tunnel v3*.

В результате расчётов было установлено, что в первом и втором стволе потребуются: светильники с СД мощностью 213 Вт и равным 700 мА номинальным током СД (140 и 128 шт. соответственно) и светильники с СД мощностью 75 Вт и равным 500 мА номинальным током СД (102 и 128 шт. соответственно). Энергопотребление светильников, в которых использовались СД с номинальными токами 700 и 500 мА, были равны, соответственно, 213 и 75 Вт.

В рассматриваемом тоннеле в настоящее время используются светильники с НЛВД мощностью 400 и 150 Вт. Количество светильников с НЛВД мощностью 400 Вт равно 64 шт., а их энергопотребление с учётом пускорегулирующих аппаратов и зажигающих устройств составляет 434,5 Вт. С другой стороны, количество светильников с НЛВД мощностью 125 Вт равно 44 шт., а их энергопотребление с учётом пускорегулирующих аппаратов и зажигающих устройств составляет 170,6 Вт [10].

Сравнение годового потребления энергии ОУ с такими светильниками с СД и с НЛВД проведено в табл. 5. Данные об энергопотреблении в случае реального тоннеля были предоставлены Стамбульским управлением по эксплуатации тоннелей [10].

Рассчитанные на основе годовой продолжительности работы значения потребляемой энергии составили 207563 кВт·ч при использовании светильников с НЛВД, тогда как в случае светильников с СД эта величина оказалась равной 113096 кВт·ч. Из этого следует, что светильники с СД обеспечивают 45,5-процентную экономию энергии, а это значительная цифра, если учитывать, что большинство стран мира старается при помощи программ по повышению энергоэффективности по возможности максимально уменьшить количество потребляемой энергии.

Достигнутое в результате использования светильников с СД уменьшение энергопотребления в тоннеле на 45,5 % является достаточно большим, особенно если принимать во внимание важность энергосбережения для современного мира.

4. Заключение

В данном исследовании проведено проектирование допускающей ступенчатое изменение яркости ОУ со светильниками с мощными СД, предназначенной для освещения городского автодорожного тоннеля. Полученные в результате проектирования значения яркости совпадают с приведёнными в [2] графиками МКО. В результате проведённых исследований было установлено, что проект ОУ со светильниками с СД обеспечивает уровни яркости, нормированные в [2].

Рассчитанное значение РБТ оказалось равным 75,27 м, а значения яркости в пороговой зоне для первого и второго ствола тоннеля были равны, соответственно, 146 и 133 кд/м^2.

Рассмотренный в исследовании реальный тоннель освещается светильниками с НЛВД. Были проведены расчёты, позволяющие сравнить энергоэффективности ОУ с НЛВД и с СД.

Было установлено, что при замене используемых в настоящее время светильников с НЛВД на светильники с СД годовое потребление энергии уменьшится на 45,5 %. Т.к. большинство стран стараются найти новые способы уменьшения потребляемой ими энергии и выбросов CO_2, то обеспечиваемая светильниками с СД 45,5-процентная экономия энергии оказывается довольно существенной. Применительно к освещению тоннелей, светильники с СД являются реальной и удобной в эксплуатации альтернативой светильникам с другими источниками света, что обусловлено их большими сроками службы, лучшей цветопередачей и более высокой энергоэффективностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Simons, R.H., Bean, A.R.* Tunnel lighting. – In: Lighting Engineering, Applied Calculations, 2001, pp. 402–410.
2. CIE International Commission on Illumination Technical Report-88. Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, 2004.
3. Energy Savings Potential of Solid –State Lighting in General Illumination Applications // Navigant Consulting Inc., U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technologies Program, Washington, DC, 2012.
4. *Mottier, P.* LEDs for lighting applications. – New York: John Wiley& Sons, 2009.
5. *Lenk, R., Lenk, C.* Practical lighting design with LEDs. – New York: John Wiley& Sons, 2011.
6. *Ding, X., Li, Y., Li, Z., Tang, Y., Yu, B., Yuan, D.* Application of heat pipe heat sink for high power LED lamps // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vols. 602–605. – P. 2713–2716.
7. *Leung, H.M.S.* LED lighting application in long railway tunnels // The Hong Kong Institution of Engineers Transactions. – 2012. – Vol.19, No.4. – P. 42–46.
8. *Cengiz, M.S., Rüstemli, S.* The relationship between height and efficiency and solution offerings in tunnel and sub-sea tunnels // Light& Engineering. – 2014. – Vol. 22, No. 2. V P. 76–83.

8а. *Рустемли С., Сенгиз М.С.* Оптимизация освещения тоннелей // Светотехника. – 2014. – № 4. – С. 64–69.

9. http://www.schreder.com.eg/en-egs/LearningCentre/Dossiers/Pages/Optimum-safety-for-LED-tunnel-lighting-solutions.aspx.
10. Istanbul Tunnel Management (ISBAK). http://tunel.isbak.com.tr/.

Канан Каратекин (Canan Karatekin), *Dr. (электротехника). Окончила Стамбульский технический университет (1993 г.). Доцент Стамбульского технического университета.*

КАДОШКИНСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД

ЛАМПА GALAD ДНаТ-600

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Тип колбы	T46
Мощность	600 Вт
Напряжение сети	400 В
Фотосинтезный фотонный поток PPF	1300 мкмоль/с
Фотосинтезная фотонная эффективность	2,15 мкмоль/Дж
Световой поток (100ч)	85 000 лм
Цветовая температура	2000 К
Индекс цветопередачи CRI	22
Повторное зажигание через	1-2 мин.
Срок службы	32 000 ч
Положение горения	произвольное

ООО «БЛ ТРЕЙД» - официальный дистрибьютор торговых марок GALAD и OPORA ENGINEERING www.bl-trade.ru

Россия, Республика Мордовия, п. Кадошкино, ул. Заводская, 1, тел: (83448) 2-31-21

МОЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЙ НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(ТВОРЧЕСКИЙ ОТЧЁТ)

Ю.Б. Айзенберг, ВНИСИ, журнал «Светотехника»

От редакции

Впервые публикуется необычный для нашего журнала материал – творческий отчёт о длительной работе, главного редактора журнала «Светотехника» и «*Light & Engineering*», доктора технических наук, профессора, действительного члена Академии электротехнических наук, заслуженного изобретателя России Юлиана Борисовича Айзенберга, успешно руководившего нашими изданиями почти половину века и работающего во ВНИСИ им. С.И. Вавилова 62 года (1954–2016 годы).

Желаем автору творческого долголетия и продолжения работы в редакции!

Аннотация

Рассмотрены научно-исследовательские работы, работы по системному конструированию световых приборов, научно-организационная, издательская, педагогическая деятельности, итоги работы в международных электротехнических и светотехнических организациях, а также влияние этих работ на повышение технико-экономического уровня и качества продукции светотехнической промышленности и повышения квалификации специалистов.

Представлены специалисты, внёсшие важный вклад в представленные результаты на разных этапах работы.

Ключевые слова: системное конструирование световых приборов, специальное технологическое оборудование для изготовления деталей светильников и прожекторов методом литья и экструзии пластмассы и прямого прессования алюминия, полые протяжённые световоды, необслуживаемые светильники.

Введение

Импульсом, давшим начало этой работе, послужило предложение нового главного редактора журнала проф. В.П. Будака написать статью для нашего журнала о моём достаточно напряжённом и длительном творческом пути, о некоторых достижениях и неудачах на различных направлениях моей деятельности.

Признаться, первая моя реакция была отрицательной в связи с предполагавшимися трудностями восстановления давно забытых дел и результатов. Но после длительного раздумья я увлёкся этой идеей, мне очень захотелось восстановить из небытия не только события, результаты, но и вспомнить всех моих коллег, с которыми эти результаты были получены, переосмыслить методы и подходы к решению стоявших задач.

Помогло и то, что у меня сохранилось большое количество материалов с той давней поры (пятидесятые-семидесятые годы прошлого столетия). Но самым главным помощником был сам наш любимый журнал «Светотехника», содержащий богатейший материал и этих и куда более далёких лет.

Увлечение идеей привело к появлению маленькой брошюры с фактографическим материалом, изданной в количестве 50 экземпляров для членов редколлегии, моих сотрудников по ВНИСИ и Дому Света, а также для родных и друзей.

Время неожиданно показало наличие значительного интереса к этой работе, особенно у молодого поколения людей, работающих в светотехнических, учебных, проектных и научных организациях, что особенно проявилось в последние несколько месяцев прошлого года.

У меня стали просить эту брошюру с разных сторон. И тогда пришло решение переработать весь материал и придать ему характер статьи для журнала «Светотехника».

Для облегчения использования материалов статьи она подразделена на ряд важнейших разделов, отражающих направления моей деятельности. В статью добавлено введение, предисловие и краткая историческая справка.

Воспользовавшись случаем упомянул всех своих учителей, сотрудников, внёсших большой вклад в описанные в статье результаты, и моих ближайших коллег-друзей, большинства из которых к величайшему сожалению уже нет среди живых.

Краткое историческое предисловие

Кафедру светотехники МЭИ я закончил в марте 1954 г. и получил направление на работу в недавно созданный Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ), располагавшийся на территории ВЭИ им. В.И. Ленина и прожекторного завода. Во ВНИСИ дирекция определила место моей работы в лаборатории осветительных приборов, нисколько не посчитавшись с моим мнением. Я же хотел продолжить работу в направлении своего дипломного проекта, который был посвящён исследованиям разрешающей способности электронно-лучевых тру-

бок и проводились под руководством профессора В.А. Фабриканта.

Лабораторией осветительных приборов ВНИСИ руководил Николай Николаевич Ермолинский – крупный учёный, чрезвычайно эрудированный человек, редкой доброжелательности и честности. Под влиянием Н.Н. Ермолинского и его больших друзей – профессора С.О. Майзеля и С.Г. Юрова моё отношение к тематике лаборатории постепенно менялось и я стал находить всё больше интересных проблем и нерешённых задач в области работы лаборатории, тем более, что стала выкристаллизовываться и предлагаемая тема моей первой диссертационной работы, а в 1956 году профессор В.В. Мешков привлёк меня к внештатной работе научного редактора журнала «Светотехника», издание которого за год до этого было возобновлено после долгого перерыва, связанного с годами Великой Отечественной войны и послевоенной разрухой.

За первые 10 лет работы во ВНИСИ и журнала я познакомился с рядом выдающихся специалистов в деле проектирования осветительных установок (Г.М. Кноррингом, С.А. Клюевым, Л.А. Циперманом, М.Ю. Каплинской), производственниками (Н.В. Гориным, В.Е. Боленком, С.Л. Миркиным, Р.Ю. Яремчуком, В.И. Краизманом). В результате совместной работы, многих бесед и посещения других организаций и заводов, а также Центрального бюро научного общества светотехников (ЦЕНТОЭП) в Ленинграде у меня сложилось следующая достаточно неприглядная картина состояния светотехнической науки и производства тех дней.

1. При достаточно высоком и современном уровне исследований, проводившихся во ВНИСИ, кафедре «Светотехника» МЭИ, ГОИ, лабораториях охраны труда в Ленинграде, Москве и Иванове, результаты которых публиковались в журнале «Светотехника» существовал огромный разрыв между теоретической и прикладной наукой и производством, крайне отсталым по своему технологическому уровню, составу оборудования и уровнем квалификации персонала.

Конструкторские работы по осветительным приборам выполнялись из расчёта на производственные возможности и изделия имели крайне низкие технико-экономические параметры, а о дизайне и говорить было нечего.

Из-за наличия «железного занавеса», никакой возможности изучать передовой опыт конструирования и технологии не было возможности, доступа к зарубежным журналам не было.

Выпуск учебной и другой научно-технической литературы был крайне ограничен. Отсутствовали многие учебники по основополагающим дисциплинам (например, не было учебников по конструированию приборов, по материаловедению, по технологии и оборудованию для современного производства и др.).

В этой связи и для решения многих светотехнических задач отсутствовали, не только необходимые источники света, пускорегулирующая аппаратура, но и осветительные приборы. Например, для широко распространённых взрывоопасных помещений (химической промышленности, текстильной, мукомольной отраслей промышленности, компрессорных станций нефте- и газопроводов). Разрабатывавшиеся на заводе «Электросвет» в Москве приборы для этих помещений строились на принципе создания условий нераспространения взрыва за оболочку светильника, находящегося внутри взрывоопасных помещений, внутри которых находились также электрические сети и электроустановочные изделия. При этом приборы представляли собой дорогие, сложные, трудно обслуживаемые громоздкие конструкции, а осветительные установки с ними не обеспечивали гарантированной безопасности. Это приводило к большому числу жертв на таких производствах при частых взрывах.

В связи с крайне ограниченным выпуском специалистов-светотехников в большинстве организаций и предприятий деятельностью в нашей области занимался значительный контингент людей, имеющих другой вид образования или не имеющих такового. При этом система повышения светотехнического образования как таковая отсутствовала.

Людей, работающих в области электрического освещения в различных отраслях народного хозяйства, никто не объединяет и идеологически не управляет. Минэлектротехпром отвечает только за сферу производства и никакими другими светотехническими проблемами не интересуется.

Потенциально эту роль мог бы выполнять журнал «Светотехника», но он в связи с крайне ограниченностью тиража и сугубо теоретической направленности эту функцию не несёт.

В стране отсутствовал центр энергосбережения в осветительных установках, который мог бы направить усилия в этой важной области. Что было совершенно удивительно, что никто не занимался исследованиями и сбором статистических данных о масштабах осветительных установок в стране, их энергопотреблении, числе световых точек с разными типами источников света. Таким образом, отсутствовали серьёзные и обоснованные данные для показа Правительству и Госплану СССР истинных грандиозных масштабов отрасли и обращений по поводу необходимости её финансирования и развития.

В книгах и журналах на английском и немецком языках я совершенно не встречал ссылок на наших крупнейших учёных и на их опубликованные труды (ни на русском, ни других языках). При встречах с зарубежными специалистами, я сталкивался с полным неведением их об основополагающих трудах Вавилова, Гершуна, Майзеля, Мешкова, Фабриканта, Кравкова, Тиходеева и многих других. Таким образом «железный занавес» и языковый барьер приводили к полной изоляции российской светотехнической науки и практики от общемировых тенденций и достижений.

Мои посещения патентной библиотеки и изучение соответствующих классов патентной литературы привели меня к выводу об аналогичной ситуации и в этом крайне важном направлении – полному отсутствию отечественных патентов зарубежных стран

на конструкции, методы расчёта, технологические процессы.

Ну и последнее, нельзя было найти достоверных сведений об истинном состоянии освещения в быту, на улицах и дорогах, на большинстве предприятий (каковы реальные освещённости в школах, больницах, вузах и т.д.).

Обдумывание ситуации, обсуждение с моими старшими коллегами и товарищами, беседы с работниками Минэлектротехпрома, Минэнерго, Госплана и Госснаба СССР привели меня к выводам о том, что необходимо сделать для изменения ситуации, как строить эту работу обязательно комплексно, кого и как привлечь к выполнению этой работы, абсолютно неподъемлемой для разрозненно действующих одиночек. Отсюда строилась моя внутренняя программа действий на последующие десятилетия, направленных на изменение сложившийся ситуации.

Что удалось сделать, в каких направлениях больше, а в каких меньше или неудачно рассмотрено ниже в весьма краткой, можно сказать в лапидарной форме.

До перехода к конкретным делам и их результатам, хотел бы упомянуть о двух важных эпизодах, сыгравших большую роль в моей дальнейшей работе.

В процессе конструирования самых массовых открытых промышленных светильников с двумя люминесцентными лампами по 40 и 80 Вт, мы пришли к выводу о крайне нерациональной их компоновке, особенно когда они становятся в линию встык и через них проходят трёхфазные линии питающих проводов. При этом и использовании громоздких стартерных ПРА расположенных в центре корпусов светильников, происходит не только многократное дублирование проводов, значительный расход стали из-за расширения корпусов и резко затрудняется обслуживание приборов.

Возникла идея разработки конструкции без ПРА внутри корпусов, а со съёмными блоками ПРА и патронов, расположенными в местах стыка корпусов в линию и обслуживающих ближайшие катоды ламп двух разных, но ближайших светильников. Самую важную схемную часть такой конструкции блестяще решил талантливый электротехник М.А. Дубас. В ходе этой увлекательной работы нами было отработаны методы и приёмы подачи заявок на патенты США и Англии, найден путь поиска предшествующих работ в разных странах в этой области, принципы анализа выставляемых патентными ведомствами стран противопоставлений и методы и пути доказательства неправомочности этих противопоставлений.

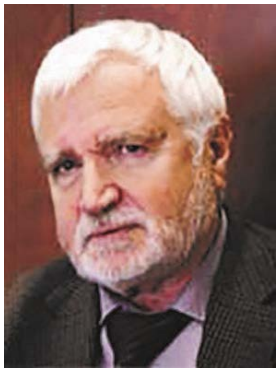
Второй важнейшей эпизод был связан с приездом ко мне из Киева проектировщика осветительных установок Г.Б. Бухмана с предложением совместно продолжить начатые в XIX веке В.Н. Чиколевым в России работы по освещению взрывоопасных помещений отдалённо расположенными источниками света и передачей по ним светового потока с помощью зеркалированных труб (от одного торца трубы к другому). При этом новым по предложению Г.Б. Бухмана являлось устройство по образующей трубы продольного оптического отверстия для выхода светового потока из трубы на всём её протяжении. После основательного обдумывания, анализа возможных технико-экономических параметров и областей применения мы пришли к выводу о крайне интересных перспективах такой научно-конструкторско-технологической работы, которая сыграла огромную роль в нашей жизни. Поэтому рассказ о результатах своей деятельности начинается с описания именно работ по этой тематике.

1. Научно-конструкторская деятельность, внедрение в производство, в проектную практику и в осветительные установки

1.1. Выдвинули идею (совместно с Г.Б. Бухманом) о создании нового направления светотехнической науки и техники – полых протяжённых световодов (холодных и без электрического потенциала) для транспортирования и перераспределения в пространстве световых потоков искусственного излучения, естественного света или от их совместного действия. Доказали целесообразность и необходимость проведения комплекса исследований и конструкторско-технологических работ в этом новом направлении. С целью апробации идеи и обсуждения первоочередной области применения полых световодов сделал доклады на эту тему в ЦЕНТОЭПе, Минэлектротехпроме и ГПИ «Тяжпромэлектропроект».

Организовал и возглавил творческий коллектив (включая Г.Б. Бухмана, В.М. Пятигорского, А.А. Коробко, Н.Н. Софронова, а также специалистов ПО «Лисма» (г. Саранск) и ПО «Ватра» (г. Тернополь) (рис. 1).

а)



б)

в)

Рис. 1. *а* – Г.Б. Бухман, *б* – В.М. Пятигорский, *в* – А.А. Коробко

В результате выполнения скоординированного комплекса работ были разработаны важнейшие новые материалы и комплектующие изделия и внедрены в производство: зеркальные металлогалогенные лампы большой мощности типа ДРИЗ с концентрированной кривой силы света (ПО «Лисма»), прочная полиэтилентерефталатная плёнка толщиной 25 мкн для эластичных световодов (Владимирский химкомбинат), пускорегулирующая аппаратура для ламп

ДРИЗ (Кадошкинский электротехнический завод), а также конструкция комплектных осветительных устройств типа КОУ с полыми щелевыми световодами длиной 6 м и 18 м при диаметрах каналов 250 и 600 мм (на ПО «Ватра», где также было разработано и изготовлено специальное технологическое оборудование для производства каналов световодов). Разработкой рабочей документации и технологического оборудования руководили Р.Ю. Яремчук, П.К. Касперский и О.Б. Ладыка.

Всего было выпущено более 52,0 тысяч КОУ различных модификаций. Ими были оборудованы (по приказу министра Минобщемаша (МОМ)) все предприятия по изготовлению взрывчатых и огнеопасных материалов, все взрывоопасные компрессорные станции нефтепровода «Дружба», помещения химических заводов, особо чистые цеха с высокими требованиями к постоянству температуры, ряд заводов электронной промышленности, ряд станций метро в Москве и в Киеве, мотоциклетный завод в Киеве и др. Плоскими клановидными световодами была оборудована темница для выгонки рассады в академии сельского хозяйства им. Тимирязева, показавшая исключительно высокую эффективность для Северных районов страны (совместно с В.М. Пятигорским, В.М. Леманом, О.С. Фанталовым).

Комплекс работ по световодам был признан государственным Комитетом по изобретениям и Госпланом СССР одним из важнейших изобретений страны в 90-е годы, о результатах этой работы корреспондентом В. Петровым было опубликовано две статьи в газете «Правда», для дальнейшего развития этого направления было принято специальное решение Правительства СССР, предусматривающее расширение производства КОУ на заводе ПО «Ватра», создание лаборатории (в дальнейшем под руководством В.М. Пятигорским) по исследованию и конструированию световодов во ВНИСИ.

Были получены авторские свидетельства СССР (более двадцати) и патенты США, Германии, Японии, Франции, Италии, Швеции, Норвегии.

Мною были сделаны доклады на международных конгрессах МКО и национальных светотехнических конференциях в США (Балтимор, Сиэтл, Сан-Диего), Германии, Нидерландов, Индии, Китая, Болгарии. Проданы лицензии Италии и Японии.

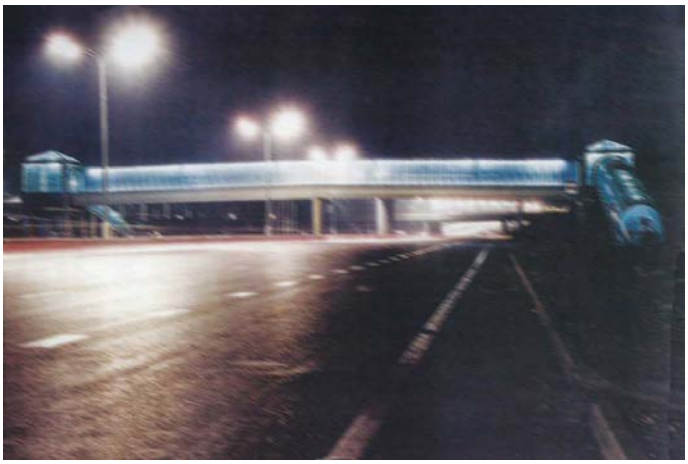


Рис. 2

Разработаны и освоены производством осветительные устройства с жёсткими световодами, ими оборудованы 32 надземных перехода на кольцевой дороге в Москве (рис. 2) (четыре световода вместо 24-х ударопрочных светильников, предусмотренных в предыдущих проектах).

Руководил работой по освещению центральных помещений без естественного света в четырехэтажной школе с помощью вертикальной системы световодов и гелиостатов в г. Сент-Галлен и двухэтажного учебного заведения в г. *Schiers* (Швейцария), эти системы обеспечивали введение солнечного света и рассеянного естественного излучения, а также света ламп МГЛ в безоконные помещения на всех этажах этих зданий. С этой целью совместно с А.А. Коробко и при деятельном участии деятельном участии фирм «*Buhler-Scherler*» (*W. Buob*) и «*Signer*» (Швейцария) была разработана, изготовлена и внедрена уникальная установка «*Heliobus*» (рис. 3).

Написание монографии «*Hollow Light Guides*» (издательство «Знак» 2009 г., 210 стр., английский язык) и серии статей в журналах «Светотехника» (рис. 4) и «*Light & Engineering*», «*Licht*» (Германия), «*Beleuchtung*» (Швейцария).

Рис. 3

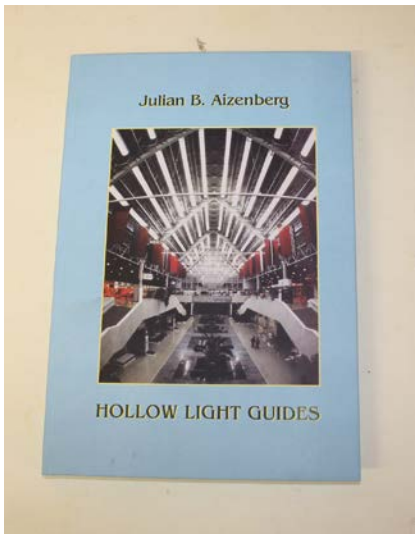


Рис. 4

В настоящее время в мире более 10 фирм в России, США, Канаде, Германии, Великобритании, Италии и Австралии производят полые протяжённые световоды, преимущественно для введения естественного света в безоконные здания или здания с недостаточным естественным освещением в ряде помещений.

Тема «Полые световоды» исследовалась в 7-ми диссертациях (в России три работы под моим руководством), Канаде, Великобритании, Италии и Австралии.

Особо необходимо отметить роль В.М. Пятигорского, талант и золотые руки, которого позволили не только конструировать новые виды осветительных устройств со щелевыми световодами, но и самолично (с помощниками) смонтировать все важнейшие пилотные осветительные установки с ними, а также получить целый ряд патентов ведущих стран мира и авторских свидетельств России.

– Комплекс работ по полым световодам был представлен дважды ВНИСИ и Минэлектротехпромом на звание «Лауреат государственной премии».

– Золотой медалью Всемирной выставки в Берне (Швейцария) по охране окружающей среды награждена установка «*Heliobus*».

– Был награждён почётной наградой Международной комиссии по освещению (МКО) за пионерские исследования в области полых световодов и большой Золотой медалью ВДНХ.

1.2. Разработал совместно с М.А. Дубасом и внедрил в серийное производство на Рижском светотехническом заводе принципиально новые конструкции, стыкуемых в линию светильников типа ЛОУ с люминесцентными лампами для промышленных предприятий, с питанием трехфазным током через ПРА, расположенные в местах стыка светильников и соединённых с ближайшими катодами люминесцентных ламп стыкуемых приборов. Получение авторского свидетельства на дизайн промышленного образца, а также получение патентов России, США и Великобритании. Стыкуемые в линию светильники ЛОУ получили Золотую медаль на выставке в г. Лейпциг.

1.3. Выдвижение идеи и получение авторского свидетельства (совместно с А.С. Зуеманом, Г.М. Кнорринтом и Г.Ф. Рубинской), разработка конструкции и внедрение в производство на Ардатовском светотехнической заводе частично уплотнённых промышленных светильников с лампами накаливания и ДРЛ с герметичной зоной расположения электрических контактов с помощью эластичной кремнийорганической резиновой диафрагмы с круглым отверстием в центре, облегающей шейку горла лампы при её вставлении в светильник (без защитных стёкол), исполнения 26'.

1.4. Выдвижение идеи создания необслуживаемых промышленных светильников для ламп накаливания и дуговых ламп высокого давления большой мощности путём создания термобарьера от оседания пыли в процессе длительной эксплуатации и экспериментальное доказательство возможности разработки конструкции и её работоспособности в тяжёлых условиях окружающей среды (совместно с Н.В. Рожковой (рис. 5а) и С.Т. Щырбой), с публикацией ряда статей и защитой последним диссертации на эту тему.

1.5. Получение 70 международных патентов и авторских свидетельств на световые приборы и осветительные установки в России, США, Германии, Великобритании, Японии, Италии, Франции. Швеции. Норвегии, Швейцарии.

1.6. Получение почётного звания «Заслуженный изобретатель России» за подписью Президента РФ Б.Н. Ельцина.

2. Исследовательские работы

2.1. Экспериментальное исследование тепловых режимов светильников разных конструктивных исполнений с люминесцентными лампами и лампами накаливания и их влияния на световую отдачу и КПД источников света и световых приборов, публикация результатов в журналах «Светотехника» и «*Electric*», Германия (совместно с Л.Е. Левиной).

2.2. Разработка методики расчёта профиля отражателей из материала с направленно-рассеянным отражением, разработка фотометрического прибора для исследования индикатрис рассеяния различных светотехнических материалов, разработка про-

а) *б)*

Рис. 5

мышленных светильников из направленно-рассеянно отражающего алюминия серий Гс и Гк (с отражателями из алюминия, подвергнутого термохимической обработке по методу В.И. Долгополова) и внедрение их в производство на Ардатовском светотехническом заводе. Защита кандидатской диссертации по совокупности этих работ (под руководством Н.Н. Ермолинского и С.Г. Юрова).

2.3. Разработка принципов классификации кривых силы света светильников по направлению максимального усиления силы света источника излучения и по коэффициенту формы кривой силы света (совместно с Г.М. Кнорринг) и метода оценки соответствия КСС любых приборов основным типам по этой классификации с введением допусков (совместно с Г.Б. Бухманом). Прочтение ряда докладов на эту тему на международных конференциях, публикация статьи в журнале «*Lighting Research and Development*» (ИК).

2.4. Проведение комплекса исследований, направленных на повышение энергоэффективности осветительных установок, выявление масштабов действующих осветительных установок и потребности страны в светотехнических изделиях (лампах, световых приборах и комплектующих изделиях), оценка потенциала энергосбережения при развитии электрического освещения страны; написание и издание книги «Проблемы энергоэффективности осветительных установок» и серии статей и докладов на международных и отечественных конференциях; передача результатов исследований в Минэлектротехпром и Госплан СССР и компанию ВАВС (совместно с Н.В. Рожковой и Г.В. Федюкиной (рис. 5б)).

2.5. Создание теории и метода расчёта срока службы световых приборов (совместно с Н.В. Рожковой) с введением понятия отказа с учётом степени снижения КПД и деформации формы КСС. Публикация серии статей на эту тему в журнале «Светотехника».

2.6. Разработка принципов системного конструирования световых приборов; защита докторской диссертации по этой проблеме, написание и издание монографии «Основы конструирования световых приборов» (рис. 6), одобренной в качестве учебного пособия для электротехнических вузов страны и кафедр «Светотехники» – первой в мире книги по этой проблеме (Госэнергоатомиздат, 1996 г. 700 стр., тираж 1000 экз.).

2.7. Исследование парка действующих функциональных наружных осветительных установок 250 городов России. Анализ структуры и количества осветительных приборов с различными типами источников света, расстояний между опорами, вида электрических питающих сетей (воздушных, подземных, тросовых и др.), выявление в городах трёх групп (до 100 тысяч световых точек, до 500 тысяч, и сверх 500 тысяч световых точек), оценка установленных мощностей и расхода электроэнергии (совместно с Е.Ю. Матвеевой и Д.Д. Юшковым).

2.8. Проведён комплекс исследований эксплуатационных характеристик нескольких групп промышленных светильников с лампами накаливания и ДРЛ в реальных условиях промышленной среды с отражателями, рассеивателями и защитными стёклами разной твёрдости при различных способах химико-механической очистки (совместно с И.И. Нестеровичем на ПО «Ватра», г. Тернополь). Публикация результатов в журнале «Светотехника».

Рис. 6

2.9. На основе анализа накопленного опыта конструирования различных групп световых приборов (СП) и опыта их эксплуатационных исследований была предложена классификация конструктивно-светотехнических схем СП и выявлена взаимосвязь этих схем, твёрдости поверхностей (на истирание при очистке) оптических элементов СП (отражателей, рассеивателей и защитных стёкол из различных материалов), выбором коэффициентов запаса ОУ и частотой очисток СП при разных условиях среды в процессе эксплуатации.

В последней редакции СНиП введена предложенная классификация конструктивно-светотехнических схем светильников, а также классификация светильников по их эксплуатационным группам, дифференциация режимов их обслуживания и коэффициентов запаса осветительных установок с этими приборами.

В качестве интегральной оценки работоспособности конкретной конструкции светового прибора в различных условиях среды введено понятие – эксплуатационная группа СП (ЭГ), которая тем выше, чем больше значение коэффициента восстановления КПД СП имеют оптические элементы после очисток, и чем меньше количество очисток требует этот СП в процессе эксплуатации (совместно с Е.И. Мясоедовой и Г.В. Федюкиной).

3. Конструкторские разработки массовых серий светильников и внедрение их в производство (1960–1986 гг.) с общим объёмом выпуска 110 млн штук

3.1. Руководил конструированием около 40 серий массовых светильников и внедрением в серийное производство на заводах в городах Тернополь, Ардатов, Рига, Аша, Лихославль и в 20-ти учреждениях МВД РФ, ВОС и ВОГ (для промышленных и общественных зданий).

1. Серии промышленных светильников исполнений IP20: ОД, ОДО, ОДР, ЛСП Предприятия ВОС, ВОГ, МОМ (совместно с А.Л. Боголюбовым).

2. Серии подвесных и потолочных светильников исполнений IP20: ШОД и ШЛП Предприятия ЛЗС, ВОС, ВОГ(совместно с А.Л. Боголюбовым).

3. Серии одноламповых потолочных и настенных светильников для общественных зданий и быта исполнения IP22 типа ЛПО 03, Броварский светотехнический завод (БСЗ) (совместно с И.А. Кулаковым и В.М. Райхинштейном).

4. Серии подвесных четырехламповых светильников исполнения IP20 типа ЛПО 24 Рижский светотехнический завод (РСЗ) (совместно с Л.Ф. Круминьшем и В.Н. Лиепиньшем).

5. Серии встраиваемых потолочных светильников для обслуживания снизу и сверху (с подвесного потолка), исполнения IP55 с тремя и четырьмя лампами типов ВОД, ВЛН, ЛВП Рижский светотехнический завод (РСЗ) (совместно с В.И. Крайзманом, Л.Ф. Круминьшем и Л.П. Коханской).

6. Серий пылеводозащищенных подвесных и потолочных светильников исполнений IP65 и 6'5 типов ПВЛ, ПВЛМ, ПВЛП, а также РСП, ГСП, ЖСП, ЛСП, Ардатовский светотехнический завод, предприятия МОМ (совместно с И.А. Кулаковым и В.В. Барминым).

7. Серии подвесных и потолочных светильников с лампами накаливания, ДРЛ и МГЛ исполнений IP20 и IP65, 6'5 типов УПД, УПС, ППД, УПР, РСП, СГС, НКС, Тернопольское производственное объединение «Ватра» (совместно с Р.Ю. Яремчуком и И.И. Нестеровичем).

3.2. Выдвинул (совместно с И.А. Кулаковым) идею о необходимости постепенного перевода конструирования световых приборов (СП), прежде всего для тяжёлых условий среды и прожекторов, на технологию непрерывного прессования алюминиевых профилей. Идея была реализована совместно с заводом ВИЛС в Москве и заводами алюминиевых профилей в Воронеже и Ленинграде. Новая конструкция светильников с люминесцентными лампами ПВЛМ была разработана и внедрена (совместно с В.В. Барминым) на Ардатовском светотехническом заводе. Подробная статья на эту тему опубликована в журнале «Светотехника».

4. Научно-организационная деятельность

4.1. Основал в Нью-Йорке журнал «*Light & Engineering*» – английскую версию журнала «Светотехника» (подробнее см. в разделе 5.2.).

4.2. Организовал в 1997 году и руководил на протяжении 20 лет Московским Домом Света – центром информации и пропаганды, повышения энергоэффективности осветительных и облучательных установок, повышения квалификации специалистов. Добился выхода решения Правительства Москвы по «Дому Света» за подписью Ю.М. Лужкова. Выдвинул идею проведения 1 марта в Москве ежегодного «Дня светотехника» – семинаров-выставок, организовал издание серии брошюр «Новости светотехники» (42 выпуска), а также трёх изданий «Справочной книги по светотехнике», книги «Светодиоды и их применение для освещения» и «*Hollow Light Guides*» на английском языке. За эти годы Дом Света провёл ряд важных и полезных мероприятий: 35 курсов повышения квалификации (650 слушателей); 34 презентации лучших отечественных и зарубежных фирм; 13 семинаров-выставок «День светотехника» по важнейшим проблемам науки и техники, в работе которых приняли активное участие свыше 3400 специалистов. На протяжении всех лет со мной рядом в «Доме Света» была Л.В. Шелатуркина, а большую часть 2000-х годов активно и полезно работала с нами М.И. Титаренко.

4.3. Выдвинул идею строительства в Москве здания «Дома Света», как центра информации о роли освещения, важности светового комфорта и дизайна, библиотечного и лекционного цента, световой доминанты столицы; добился поддержки этой идеи Министром электротехнической промышленности СССР А.К. Антоновым и мэром Москвы В.Ф. Промысловым, а также подготовил выход Постановления Совмина страны за подписью А.Н. Косыгина с выделением средств на строительство «Дома Света» в размере 8 млн руб. и земельного участка на улице Аргуновская в Москве.

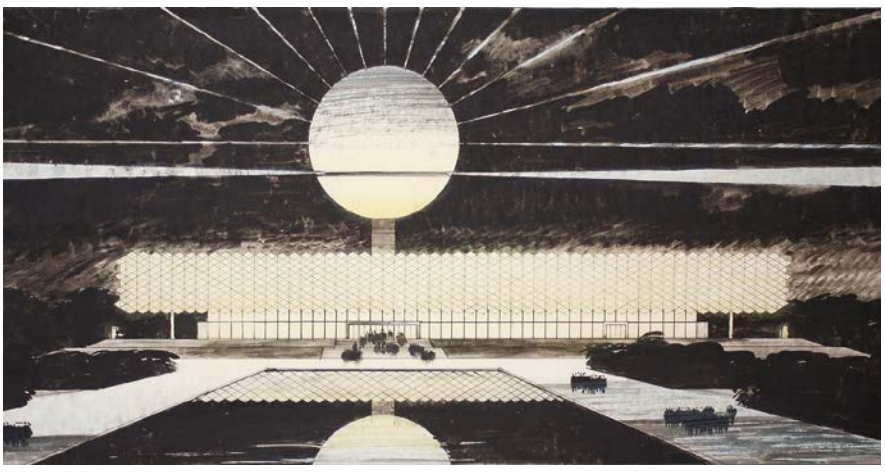


Рис. 7

Был выполнен (совместно с архитектором В.Г. Макаревичем) фор-проект здания «Дома Света» (рис. 7). Написал и опубликовал статью в журнале «Светотехника» (совместно с В.Г. Макаревичем и П.В. Пляскиным). Реализация проекта не состоялась из-за необходимости концентрации всех сил и средств страны на подготовку к Олимпийским играм 1980 г. в Москве.

4.4. Организовал и руководил работой секции «Светотехническая наука» отделения «Физико-технические проблемы энергетики» Академии наук СССР (под руководством академика К.С. Демирчяна).

Разработал перспективную программу фундаментальных исследований и разработок, одобренную секцией, опубликованной в журнале «Светотехника» и передал её руководству АН СССР и Комитета по науке и технике страны для рассмотрения, реализации и финансирования.

4.5. Подготовка (совместно с Г.Ф. Рубинской) постановления Правительства СССР по развитию светотехнической промышленности (№ 125), а также по развитию горно-добывающей промышленности и сельского хозяйства.

4.6. Организовал и провёл девять Всесоюзных конференций по световым приборам в городах Москве (трижды), Ленинграде (дважды), Тернополе, Риге, Таллине, Кировокане, Киеве.

4.7. Работа в качестве руководителя подразделений ВНИСИ (лаборатории, отдела, отделения в составе 5 лабораторий), а также главного научного сотрудника на протяжении 62 лет (1954–2016 годы).

4.8. Основал «Форум по светодиодам для освещения» на ежегодной международной выставке «*Inter Light*» в Москве, а также руководил первыми заседаниями форумов (совместно с А.Э. Юновичем). На протяжении 17 лет был заместителем председателя Оргкомитета этой выставки.

4.9. В связи с неожиданным прекращением государственного финансирования работы журнала, в порядке жёсткой необходимости для спасения издания, создал фирму «Светопресса» во главе с М.Ю. Каплинской, реализовывавшей на рынке лампы Калашниковского электролампового завода, а также ежегодно издававшей сборники «Светотехнические изделия и фирмы», подготавливавшихся мною и Л.П. Варфоломеевым.

4.10. Сформулировал и опубликовал предложения:

– по реорганизации светотехнического образования (в журнале «Светотехника» (совместно с М.А. Островским, С.Г. Юровым и Р.Ю. Яремчуком);

– по изменению подхода к проектированию энергетических систем вновь строящихся зданий и сооружений (освещения, отопления и кондиционирования и вентиляции воздуха), считая целесообразным и экономически выгодным проводить проектирование комплексно и одновременно с учётом особенностей и взаимосвязанности этих систем, особенно при использовании систем освещения с полыми протяжёнными световодами, используя их, в частности, для передачи и распределения очищенного и подогретого воздуха (журнал «Светотехника» и материалы международных

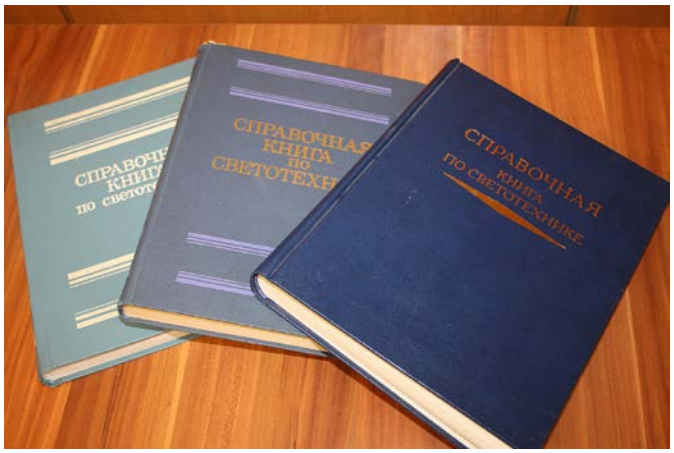


Рис. 8

конференций *CISBAT*, Лозана, Швейцария и *CBITLO-Light*-2011, Прага, Чехия).

4.11. Для обеспечения возможности детального изучения передового опыта арматуростроения работниками светотехнических предприятий страны организовал приглашения и под моим руководством провёл серию презентаций ведущих отечественных и зарубежных фирм, в частности таких как: АСТ3, Нордклифф, *Philips*, *GE Lighting*, *Osram*, *Zumtobel* и др. (всего 34 фирмы).

4.12. Принимая участие в международных конференциях, симпозиумах и выставках, читая лекции за рубежом, предпринимал возможные усилия для ознакомления с технологией производства и новым высокопроизводительным оборудованием, благодаря чему удалось изучить и получить информационные материалы на таких ведущих в мире фирмах, как: *Zumtobel*, *Tridonic* (Австрия), *Thorn* (Великобритания), *Norka*, *BJB*, *Alanod*, *Trilux*, *Se'lux*, *Waldmanlighting*, *Erco*, *Eutrac*, *Light Mess Technic*, *Vossloh Schwabe*, *Gebruder Ludwig* (Германия), *Motorola*, *A.L.P.* (США), *Targetti*, *Future Plast*, *Beghelli*, *Reggiani*, *Stucci* (Италия), *Philips Lighting* (Голландия), *Fagerhult* (Швеция), *Eltam* (Израиль).

4.13. Читал лекции в Мадриде и Барселоне о современном состоянии разработки и производства световых приборов (совместно с В.М. Пятигорским по приглашению Министерства промышленности Испании) нам удалось ознакомиться с технологией производства и новейшим оборудованием на шести ведущих предприятиях.

4.14. Накопленные знания в области технологии производства и состоянии современного технологического оборудования, а также установление широких профессиональных контактов с ведущими специалистами этих фирм позволили оказывать важную помощь отечественным заводам и фирмам по значительному повышению своего технико-экономического уровня изделий и производства (этому, в частности способствовали мои возможности общения на английском и немецком языках). Одновременно эта деятельность способствовала важной поддержке журнала «Светотехника», так как многие фирмы становились партнёрами журнала (*Zumtobel*, *Vossloh Schwabe*, *Alanod*, *Osram*, *Thorn*, Ватра, Точка Опоры и др.).

Рис. 9

Некоторые примеры, иллюстрирующие сказанное.

– Ардатовский светотехнический завод (АСТЗ) получил из Германии новейшие быстродействующие экструдеры для производства призматических открытых профилей для светильников с люминесцентными лампами для общественных и жилых зданий.

– «Световые технологии», «Нордклифф», АСТЗ, РСЗ перешли на использование лучшего в мире зеркального алюминия для отражателей светильников (алюминий типа «*Miro*» с коэффициентом отражения 0,98 фирмы «*Alanod*» (Германия), что позволило поднять КПД приборов, улучшить светораспределение и товарный вид изделий; это оказалось возможным после изучения технологии производства материала, личной проверки достоверности параметров на фирме «*Alanod*» и трехкратного проведения в Москве презентаций фирмы с приглашением специалистов наших заводов страны, выпускающих светильники с люминесцентными лампами для общественных и промышленных зданий.

– ВНИСИ приобрело компьютеризированный прибор для измерения яркости поверхностей в установках наружного освещения при движении автомобиля с прибором на скоростях до 60–80 км/час (у фирмы *Technotim*, Ильменау), великолепно налаженный и подготовленный к работе А.Ш. Черняком.

– Новые разработки светильников для работы в тяжёлых условиях среды типа ПВЛМ были разработаны АСТЗ и ВНИСИ из расчёта на технологию изготовления методом прямого прессования алюминия. Изготовление корпусов светильников этим методом было осуществлено на Воронежском заводе алюминиевых конструкций на японском оборудовании. Несколько лет длились работы с НИИ лёгких сплавов (ВИЛС) по приобретению подобного оборудования для Ардатовского завода, к сожалению, без результата. Все эти работы выполнялись совместно с И.А. Кулаковым и В.В. Бармином – талантливым инженером и практически светотехническим мозгом АСТЗ. В.В. Бармин на заводе был главным конструктором, и технологом и знатоком оборудования и руководителем лаборатории.

4.15. По сути дела в течение трёх десятилетий (1960–1990 годы) выполнял функции научно-технического куратора в области разработки и внедрения новых серий и типов осветительных приборов трёх ведущих светотехнических предприятий (Рижского светотехнического завода, ПО «Ватра», Ардатовского светотехнического завода).

5. Издательская деятельность

5.1. Подготовка и издание под моей общей редакцией трёх выпусков «Справочной книги по светотехнике» (в 1983, 1995, 2006 годах) тиражами 65 тысяч, 5 тысяч и 2 тысячи экземпляров (рис. 8). Справочные книги по сути стали энциклопедией светотехники и заменяют уже более 20 лет целый ряд отсутствующих учебников.

5.2. Руководство журналом «Светотехника» (рис. 9) на протяжении 47 лет в качестве генерального директора, главного редактора и главного бухгалтера, развитие объёма и тиража журнала (с 32 до 80 полос и с 5 тысяч до 11,5 тысяч экземпляров в 1986 г.), существенное повышение авторитета журнала и его роли в развитии светотехнической науки и промышленности, техники и эффективности освещения в стране.

Придание деятельности журнала активный характер в деле развития науки и техники. Организация журналом общественных обследований состояния освещения школ (195 школ в 21 городе и 17 посёлках), метрополитенов (в 7 городах), больниц (в Москве) и подготовка доклада об их плачевных результатах Правительству, руководству городов, метрополитенов, министерствам образования и здравоохранения.

Организация международного интервью выдающихся учёных-светотехников разных стран по проблемам состояния и развития светотехнической науки и публикация итогов в журнале «Светотехника».

Сохранил журнал «Светотехника» в тяжёлые 90-е годы кризиса, создание «института» партнёров журнала «Светотехника» и фирмы «Светопресса».

В последнее десятилетие важную поддержку журнал получил от Генерального партнёра – холдинга «*Boos Lighting Groop*».

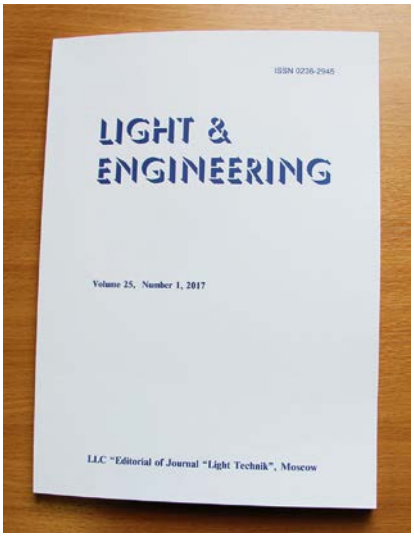


Рис. 10

5.3. Основал в США в 1992 году дочернее издание журнала «Светотехника» на английском языке – журнал «*Light & Engineering*» (рис. 10), перевод его издания в Москву в 1999 году. Этот журнал имеет уникальную международную редколлегию, в которую входили в разное время президенты МКО, два вице президента МКО, профессура США, Германии, Великобритании, Австралии. Признание МКО журналов «Светотехника» и «*Light&Engineering*» одними из трёх лучших в мире светотехнических изданий; сотрудничество с международными агентствами *Web of Science* и *Scopus*. Издание регионального (для Китая) тематического номера журнала (№ 3, 2016) по проблемам светодиодов.

5.4. Подготовка и публикация около 600 статей брошюр и докладов на международных светотехнических конгрессах в России, США, Германии, Италии, Франции, Нидерландах, Китае, Болгарии, Чехословакии, а также около 90 наименований брошюр под моей общей редакцией, в том числе:

– серий брошюр «Новости светотехники» (42 брошюры), «Энергоэффективные источники света и методы освещения» (5 брошюр), справочных материалов «Светотехнические изделия и фирмы» (6 сборников совместно с Л.П. Варфоломеевым), альбома «Что нужно знать коммерсантам о наружном освещении (совместно с Т.Л. Флодиной), серии брошюр «Светотехника за рубежом» (6 брошюр), брошюры немецкого общества «*Gutes Licht*» (переводные, 8 брошюр).

5.5. Подготовка и издание монографий:

1. Основы конструирования световых приборов. М. Энергоиздат, 1996 г., 704 стр.
2. Световые приборы. М. Энергия, 1980 г., 464 стр.
3. Осветительные приборы с люминесцентными лампами. М. Энергия, 1968 г., 366 стр. (совместно с В.Ф. Ефимкиной).
4. *Svietidla a Suetelne zdroje*, *Praha*, 1983 г., 404 стр. (совместно с В.В. Трембачём и П. Горняком).
5. Энергосбережение в осветительных установках. М. Дом Света, 2007 г., 90 стр.
6. Краткий светотехнический справочник под редакцией проф. В.В. Мешкова (совместно с Н.С. Ивановой). М. ГЭИ, 1969 г.
7. Что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами. М. Энергия, 1964.
8. Современное состояние разработки и производства осветительных приборов (совместно с В.Л. Громовой), ВНИИЭМ, 1964 г., 103 стр.

5.6. Работа Председателем редсовета по светотехнике Госэнергоиздата.

5.7. работа Председателем секции научно-технических журналов Союза Журналистов Москвы.

6. Педагогическая деятельность

6.1. Руководил подготовкой восьми успешно защищённых диссертаций (4-х сотрудников ВНИСИ и 4-х специалистов заводов отрасли) и проектной организации: В.Ф. Ефимкина (ВНИСИ), В.М. Пятигорский (ВНИСИ), А.А. Коробко (ВНИСИ), С.Н. Уткин (ВНИСИ), Г.Б. Бухман (ГПИ ТПЭП), В.В. Бармин (АСТЗ), С.Т. Щырба (ПО «Ватра»), А.Г. Раквиашвили (Гусевский СТЗ)

6.2. Ежегодно систематически читал лекции по темам «Световые приборы» и «Энергосбережение в осветительных установках» на курсах повышения квалификации «Дома Света».

6.3. Подготовил и издал учебник для электромеханических техников (1980 г.) и учебное пособие для электротехнических ВУЗов «Основы конструирования световых приборов» (1996 г.).

7. Участие в работе международных организаций

7.1. На протяжении 10 лет сотрудничал с техническим подкомитетом ТС 34В «*Lumex*» (Световые приборы) Международной электротехнической комиссии (МЭК), занимался подготовкой стандарта МЭК «Световые приборы. Технические требования и методы испытаний» (публикация № 598). Осуществил перевод на русский язык и издание в виде книги (совместно с А.В. Очкиным) (1960–1970 годы) публикации МЭК № 162 «Светильники для люминесцентных ламп».

7.2. Принимал активное участие в подготовке двух изданий «Международного светотехнического словаря», отвечая за раздел № 55 (световые приборы), его перевод на русский язык и издания в нашей стране.

7.3. Принимал участие в работе Международной светотехнической комиссии (МКО) в качестве члена отделения 3 (Внутреннее освещение), инициатор создания и руководитель технического комитета ТС 3.30 «Полые световоды»; подготовил и издал монографию «*Hollow Light Guides*», а также принимал участие подготовке публикации «*Sunlight in building with Hollow Light Guides*». Общий стаж работы в МКО – 35 лет (с 1980 г.).

7.4. Участвовал с докладами на международных конференциях *JESNA*, *Right Light*, *Lux Europa*, *Licht* (немецко-говорящих стран), *Energie Saving*.

Участвовал в работе международных выставок-ярмарок в городах Нью-Йорк, Ганновер, Франкфурт на Майне.

7.5. Принимал участие в качестве члена международного жюри по присуждению премии имени Эдисона, учреждённой в США корпорацией *General Electric*.

8. Деятельность в области стандартизации

8.1. Разработка всех действовавших (в 1960–1980 года) стандартов (ГОСТов) на светильники для промышленных и общественных зданий (совместно с В.Ф. Ефимкиной и Н.С. Семёновой), в том числе первого ГОСТ по терминологии световых приборов, а также на технические требования и методы испытаний.

8.2. Руководство разработкой действовавших в 1970–1990 годах редакций Строительных Норм и Правил (СНиП) по проектирование осветительных установок промышленных и общественных зданий и установок наружного освещения (совместно с Ц.И. Кроль, Е.И. Мясоедовой, М.А. Фаермарк, Г.В. Федюкиной).

9. Общественная деятельность

Работа в качестве:

– заместителя председателя учёного совета по присуждению степени кандидата наук,

– заместителя председателя оргкомитета международной выставки «*Interlight*»,

– председателя секции «Светотехническая наука». Отделения Физико-Технических проблем энергетики Академии Наук СССР,

– консультанта Большой Советской Энциклопедии (третье издание, 1970–1980 годы).

10. Награждения

– Орден «Трудовое Красное Знамя» (1971 г.).

– Большая золотая медаль, две золотые и одна серебряная медаль ВДНХ.

– Награды МКО за пионерские работы по полым световодам и за многолетнее успешное руководство журналами «Светотехника» и «*Light* & *Engineering*».

– Золотые медали на международных выставках в Лейпциге (за ЛОУ) и в Берне (за *Heliobus*).

11. Мои учителя и близкие сотрудники (друзья по работе)

Мне посчастливилось встретить на своём жизненном пути чудесных людей, у которых можно было многому научиться и с которыми можно было надёжно дружить.

1. Учителя: *в МЭИ* – В.В. Мешков, В.А. Фабрикант; *во ВНИСИ* – Н.Н. Ермолинский, С.Г. Юров, Н.С. Иванова, Ц.И. Кроль.

2. Близкие сотрудники, друзья на работе: *во ВНИСИ* – В.Ф. Ефимкина, Н.В. Семёнова, Ю.И. Свиридов, Л.П. Варфоломеев, В.М. Пятигорский, А.А. Коробко, Н.В. Рожкова, Г.В. Федюкина, А.Ш. Черняк, Р.И. Столяревская, М.Ю. Каплинская; *в учебных и проектных организациях и заводах*: Г.Б. Бухман, С.А. Клюев, Л.А. Циперман, Г.М. Кнорринг (ГПИ Тяжпромэлектропроект) и его отделения в Киеве и Ленинграде), Р.Ю. Яремчук (ПО Ватра), В. Левакин (ПО Лисма), В.И. Крайзман (РСЗ), И.Б. Левитин (СЗПИ), В.В. Бармин (АСТЗ), А.Б. Матвеев (МЭИ), Г.В. Каменская (МЭИ), М.М. Епанешников (МЭИ), Е.Ю. Матвеева (БЛ ГРУПП), Е.Ф. Ищенко (МЭИ, ВНИСИ), А.Э. Юнович (МГУ).

Заключение

То, что считаю самым важным:

– 62 года непрерывной работы во ВНИСИ,

– 47 лет руководства журналом «Светотехника»,

– основание в Нью-Йорке журнала «*Light* & *Engineering*», перевод его издания в Москву и 24 года руководства им,

– основание московского «Дома Света» и 20 лет руководство его деятельностью,

– создание (совместно с Г.Б. Бухманом) нового направления в светотехнической науке и технике – транспортирование и перераспределение в пространстве светового излучения полыми световодами. Их исследование, разработка, производство и определение их широкой области применения. Защита патентами всех ведущих стран мира,

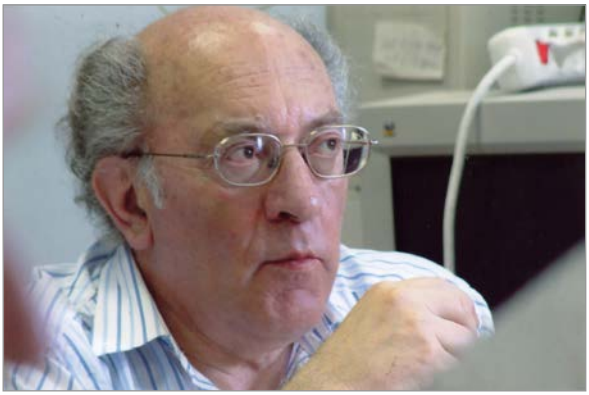
– написание и издание монографии «Основы конструирования световых приборов»,

– подготовка и выпуск трёх изданий «Справочной книги по светотехнике»,

– руководство разработкой около 40 серий светильников для промышленных и общественных зданий и внедрение их в массовое производство с суммарным объёмом выпуска более 110 млн штук.

Считаю также важным содействие: повышению технического уровня отечественной светотехнической промышленности путём написания, общего редактирования и издания целого ряда учебников, книг, брошюр, систематического проведения курсов повышения квалификации, презентаций большинства ведущих зарубежных фирм у нас в стране и, конечно же, систематическое в течение почти полувека издание журнала «Светотехника», как основного и авторитетнейшего информационного органа страны в нашей области, а также выведению отечественной светотехники на международную арену, с занятием ею заметного места в патентном деле в нашей стране и за рубежом.

Библиография в составе около 100 ссылок на опубликованные книги, статьи и доклады для уменьшения объёма материала депонированы в редакции и выведены на сайт журнала.



Айзенберг Юлиан Борисович, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1954 г. МЭИ. Шеф-редактор журнала «Светотехника» и «Light & Engineering» главный научный сотрудник ВНИСИ им. С.И. Вавилова. Действительный член Академии электротехнических наук РФ. Заслуженный изобретатель РФ*

Письмо в редакцию «О нормировании искусственного освещения»

В Российской Федерации отсутствует Национальное бюро освещения, курирующее нормирование искусственного освещения. Нормативные документы выпускаются различными организациями с отступлениями от действующих международных норм и применением устаревших данных и не имеют единого начала.

Кроме того, в нашей стране:

1. Отсутствуют нормы искусственного освещения зданий и сооружений для профессионального и любительского спорта.

2. Отсутствуют нормы искусственного освещения медицинских помещений (зданий), соответствующие требованиям медицинского персонала и пациентов.

Целесообразно выполнить сравнение норм Германии по искусственному освещению медицинских помещений *DIN5035* (с приложением «Хороший свет») и раздела «Искусственное освещение» Свода правил СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» и затем решить вопрос о возможности применения для проектирования норм Германии.

Единственный светильник для местного освещения палат медицинских учреждений, выпускаемый компанией «Световые технологии, не оснащён двухсторонней связью пациент – медицинский персонал.

Подробнее: *Р.И. Пашковский*. Искусственное освещение медицинских учреждений // Светотехника. – 2016. – № 4. – С. 70–71.

3. Отсутствуют обобщённые нормативные требования по применению в зданиях освещения светодиодами. В результате, освещение светодиодами в нашей стране внедряется, в том числе в медицинских организациях, при отсутствии надлежащей нормативной базы.

Подробнее: *Р.И. Пашковский*. Нормативные требования, касающиеся освещения светодиодами // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 76–78.

4. В течение многих лет не решается вопрос применения электронных ПРА в светильниках с люминесцентными лампами.

5. Целесообразно ввести в программу светотехнического образования раздел «Нормирование искусственного освещения в Российской Федерации и в других странах» с решением теоретических и практических вопросов.

Р.И. Пашковский, инж.-проектировщик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге.
21 марта 2017 года

Обсуждение письма Р.И. Пашковского

1. А.Т. Овчаров, д.т.н., профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета

Автор поднял актуальную для России тему и привёл убедительные факты неблагополучного положения в области нормирования искусственного освещения. Множество ведомственных нормативных документов в большинстве случаев не имеют общую базовую платформу, противоречивы по содержанию, не учитывают как современный уровень светотехники, её специфических особенностей и научных положений в области видеоэкологии, физиологии зрения и человека в общем смысле этого понятия, так и физические явления рассеяния света в атмосфере (актуально, в частности, в случае наружного освещения), роль качества световой среды как фактора безопасности в широком смысле этого понятия, включая физиологическое и психологическое здоровье человека, и т.д. Это касается как внутреннего, так и наружного освещения. Приведённые автором письма факты неудовлетворительного положения в нормировании освещения являются только яркими тревожными примерами. Действительное положение более удручающее, затрагивает практически все сферы искусственного освещения, требует тщательного изучения и обобщения мирового опыта нормирования.

Считаю важным и необходимым поддержать предложение Пашковского Р.И. об организации Национального органа по нормированию, включить решение этой проблемы в программу работы отраслевого НТС «Светотехника» с организаций соответствующей секции.

2. О.Е. Железникова, к.т.н., зав. кафедрой светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск

В России действительно сложилась неблагоприятная ситуация в нормировании освещения. У нас в настоящее время много разных норм: СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23–05–95*), ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений», ГОСТ Р 55709–2013 «Освещение рабочих мест вне зданий. Нормы и методы измерений», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» и др. Но какими нормативными актами пользоваться при проектировании осветительных установок? Существующие нормативные документы полны противоречий, которые необходимо устранить. Возможно, теперь это будет делаться в рамках недавно созданного Отраслевого научнотехнического совета «Светотехника».

Безусловно, требует серьёзной доработки нормативная база по искусственному освещению медицинских

учреждений (СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования»). Она должна быть гармонизирована с европейскими стандартами. К сожалению, в нашей стране до сих пор отсутствуют нормы освещения спортивных сооружений.

Что касается введения в основные профессиональные образовательные программы бакалавриата и магистратуры по профилю «Светотехника» дисциплины «Нормирование искусственного освещения в нашей стране и других странах», то такая дисциплина, например, в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», есть. Но возникают проблемы при её прочтении: что у нас является основным нормативным документом в области освещения? СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»? СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий»? Почему в России нет отраслевого нормирования? И т.п.

Считаю, что письмо Р.И. Пашковского о нормировании искусственного освещения как никогда актуально.

3. С.М. Лебедкова, к.т.н., профессор кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

1) Автор справедливо поднимает вопрос о создании организации, разрабатывающей общероссийские нормы искусственного освещения и курирующей организации, выпускающие отраслевые нормы, а также тесно взаимодействующей с учреждениями, выпускающими СанПиНы.

2) Согласна с положениями, приведёнными в пп. 1, 2, 3 письма. Хочу дополнить их пожеланиями публикации на страницах журнала «Светотехника» европейских, американских, британских норм. Это позволит нашим проектировщикам работать с объектами, расположенными в разных странах. Особое внимание при внедрении освещения светодиодами следует уделять качеству создаваемой светоцветовой среды.

3) Не очень понятен 4 пункт письма. В последней версии норм дана рекомендация о целесообразности применения ЭПРА в светильниках с ЛЛ.

4) Не согласна с п. 5. Уже многие годы (начиная с 50-х годов прошлого века) на кафедре светотехники НИУ МЭИ в курсах «Осветительные установки», «Светотехнические установки» читают студентам разделы «Российские нормы» и «Европейские нормы». В конце 20 века введён курс «Метрология и стандартизация в светотехнике», где также затрагиваются вопросы норм, ГОСТов, рекомендаций МКО по искусственному освещению.

5) Хочу ещё раз подчеркнуть, что широкое внедрение светильников со светодиодами при освещении различных объектов требует проведения научных исследований по оценке качества светоцветовой среды, создаваемой этими приборами. Они должны обеспечивать комфортные условия жизнедеятельности людей. Это основное предназначение любой осветительной установки.

Считаю целесообразным провести на страницах журнала дискуссию по вопросам, поднятым Р.И. Пашковским.

4. Г.В. Федюкина, к.т.н.

Негативная ситуация с документами по нормированию искусственного освещения, обострившаяся после 90-х гг. прошлого века, продолжает вносить сложности в проектирование осветительных установок, что, естественно, приводит к потерям как экономического, так и человеческого характера (забота о здоровье нации). Именно поэтому вопросы, поднятые г-ном Пашковским в данном письме и в предыдущих его публикациях на страницах журнала «Светотехника» (№ 4 за 2016 г., № 1 за 2017 г.), безусловно, актуальны. К сожалению, помимо научно-технических вопросов, как то: отсутствие норм для отдельных видов зданий (спортивных, медицинских, зрелищных), недостаточная проработка требований к освещению помещений со светодиодами, остаются нерешёнными так называемые нормативно-правовые вопросы, а именно, согласованность и приоритетность документов по освещению, разрабатываемые разными организациями. Отсюда СанПины, СНиПы, СП, ГОСТЫ, разобраться в которых при проектировании непросто. Безусловно, создание единого центра по нормированию искусственного освещения, предлагаемого г-ном Пашковским, очень заманчиво, но вряд ли осуществимо, поскольку это связано с отдельным финансированием, да и нецелесообразно, принимая во внимание наличие профессионалов в таких организациях, как ВНИСИ, НИИСтройфизики, медицинские научные учреждения по охране труда и др. Хотя координация этих работ могла бы осуществляться и централизованно. Также желательно улучшить подготовку кадров по этому направлению, пересмотрев, по возможности, учебные программы МЭИ и других учебных заведений, выпускающих светотехников данного направления. Что касается сути проблемы нормирования, то стоит отметить, как положительную тенденцию, появление документов, представляющих собой актуализированные международные стандарты, что позволяет осуществлять нормирование и проектирование освещения в соответствии с международными требованиями. Имея такие отечественные документы, уже не придётся проводить срочные разработки, как это получилось с футбольными стадионами в связи с чемпионатом мира в России. Поскольку созданию документов всегда предшествует целый комплекс исследований, то работ, проводимых в области техники освещения, явно не хватает. Это и дальнейшее изучение влияния излучения новых источников света на человека (сейчас – светодиодов), и комплексное исследование количественных и качественных характеристик освещения, начатое в 80-х гг. прошлого века, и совершенствование уже принятых качественных характеристик освещения (дискомфорта, цилиндрической освещённости и т.д.), без которого, безусловно, невозможно переходить на новые технологии проектирования.

Область применения в электроустановках устройств защитного отключения

По статистике примерно 50 % всех пожаров в Российской Федерации вызвано неисправностью электропроводок и электрооборудования и их неправильной эксплуатацией. Результат – пожары, возгорания, материальные потери, удары током и ожоги. В большинстве случаев сохранить жизнь и сберечь имущество можно, установив устройство защитного отключения (УЗО).

I. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

• **ГОСТ [1]**

Стандарт устанавливает общую терминологию и основные общие требования к конструкции, характеристикам защитных устройств, управляемых дифференциальным (остаточным) током, – автоматических выключателей дифференциального тока со встроенной и без встроенной защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения, автоматических выключателей со встроенными или автономными модулями защиты от токов утечки и др.

Стандарт может быть использован при разработке национальных стандартов Российской Федерации, стандартов предприятий и других нормативных документов на УЗО конкретных типов.

1. Общие положения

Требования настоящего стандарта применяются к устройствам, управляемым дифференциальным (остаточным) током (далее именуемых как «устройства защитного отключения», УЗО), на номинальное рабочее напряжение переменного тока не более 440 В, преимущественно служащим для повышения надёжности защиты от поражения электрическим током.

УЗО предназначены для защиты людей и животных от вредоносного воздействия электрического удара при прикосновении к доступным проводящим частям путём автоматического разъединения от сети в соответствии с ГОСТ **[2]** и ГОСТ **[3].**

В соответствии с ГОСТ **[4]** УЗО с номинальным значением отключающего дифференциального тока не более 300 мА могут применяться для защиты от возгорания при устойчивых однофазных замыканиях на землю.

В соответствии с ГОСТ **[3]** УЗО с номинальным значением отключающего дифференциального тока не более 30 мА могут применяться в качестве дополнительной защиты в случае повреждения основной защиты или неосторожного обращения с установками или оборудованием.

7. Стандартные условия нормального монтажа и эксплуатации устройств защитного отключения

7.1 Предпочтительные условия применения, основные значения воздействующих условий приведены в табл. 1 **[1]**.

Примечание 1 – Максимальное значение средней дневной температуры плюс 35 °С.

Примечание 2 – Допустимы значения за пределами указанного диапазона в местностях с более тяжёлыми климатическими условиями.

Примечание 3 – Допустимы более высокие значения относительной влажности при меньших значениях температуры (например, 90 % при плюс 20 °С).

Примечание 4 – Установка УЗО должна осуществляться без деформаций корпуса, способных мешать его работе.

• **ГОСТ [5]**

1 Область применения

Стандарт распространяется на управляемые дифференциальным током автоматические выключатели без встроенной защиты от сверхтоков, функционально независящие или зависящие от напряжения сети, бытового и аналогичного применения (далее – ВДТ) с номинальными напряжениями, не превышающими 440 В переменного тока, и номинальными токами, не превышающими 125 А, применяемые главным образом для защиты от поражения электрическим током.

ВДТ предназначены для защиты людей при косвенном контакте с открытыми проводящими частями электроустановок, соединёнными с соответствующим заземляющим устройством электроустановок зданий**.** Они могут быть использованы для обеспечения защиты от пожаров, возникающих вследствие длительного протекания тока повреждения.

ВДТ, имеющие номинальный отключающий дифференциальный ток не более 30 мА, могут быть также использованы в качестве средства дополнительной защиты в случае отказа защитных устройств, предназначенных для защиты от поражения электрическим током.

Стандарт распространяется на ВДТ, выполняющие одновременно функцию обнаружения дифференциального тока, сравнения его со значением дифференциального тока срабатывания и отключения защищаемой цепи в случае, когда дифференциальный ток превосходит это значение.

Примечания

1. ВДТ предназначены для эксплуатации необученным персоналом, а их конструкция не требует обслуживания.

2. Требования по установке и применению ВДТ приведены в комплексе стандартов на электроустановки зданий ГОСТ Р 50571.

3. ВДТ по настоящему стандарту могут быть пригодны для выполнения функции отключения.

• **ГОСТ Р [6]**

1 Область применения

Стандарт распространяется на управляемые дифференциальным током автоматические выключатели с встроенной защитой от сверхтоков, функционально независящие или зависящие от напряжения сети, бытового и аналогичного применения (далее – АВДТ) с номинальными напряжениями, не превышающими 440 В переменного тока, номинальными токами, не превышающими 125 А, с номинальными наибольшими коммутационными способностями, не превышающими 25000 А, для работы на частоте 50 или 60 Гц.

Таблица 1

Воздействующие условия	Предпочтительные значения условий применения	Номинальные значения
Температура окружающего воздуха	от минус 5 °С до 40 °С от минус 25 °С до 40 °С (см. примечания 1 и 2)	Указывается в соответствующих стандартах на аппараты
Высота над уровнем моря	Не более 2000 м	–
Относительная влажность: максимальная при температуре 40 °С	50 % (см. примечание 3)	–
Внешнее магнитное поле	Не более пятикратного значения магнитного поля Земли в любом направлении	Магнитное поле Земли
Рабочее положение	По указанию изготовителя с допуском 5° в любом направлении	Указывается в соответствующих стандартах на аппараты
Частота	Относительное значение указывается в соответствующих стандартах на аппараты	Номинальная частота указывается изготовителем
Искажение синусоиды	Не более 5 %	Ноль
Переменная составляющая постоянного тока (для внешнего вспомогательного источника)	–	Ноль

Эти аппараты предназначены для защиты людей при косвенном контакте с доступными проводящими частями электроустановок, соединёнными с соответствующим заземляющим устройством, и для защиты от сверхтоков электропроводок зданий. Они могут использоваться для обеспечения защиты от пожаров, возникающих вследствие длительного протекания тока повреждения в случае несрабатывания устройств защиты от сверхтоков.

АВДТ, имеющие номинальный отключающий дифференциальный ток не более 30 мА, могут быть также использованы как средства дополнительной защиты в случае выхода из строя устройств, предназначенных для защиты от поражения электрическим током.

Стандарт распространяется на АВДТ, выполняющие одновременно функцию обнаружения дифференциального тока, сравнения его значения с величиной дифференциального отключающего тока и отключения защищаемой цепи в случае, когда значение дифференциального тока превосходит эту величину, а также выполняющие функции включения, проведения и отключения сверхтока в заданных условиях.

Примечания

1. Требования стандарта, относящиеся к работе АВДТ при наличии дифференциального тока, основываются на ГОСТ **[5].**

Требования стандарта, относящиеся к АВДТ в качестве аппарата защиты от сверхтоков, основываются на ГОСТ **[7].**

2. АВДТ в основном предназначены для управления необученным персоналом, а их конструкция не требует обслуживания,

3. Требования по установке и применению АВДТ приведены в комплексе стандартов на электроустановки зданий – ГОСТ Р 50571.

АВДТ общего типа устойчивы к нежелательному срабатыванию, включая случаи, когда импульсные напряжения (в результате переходных процессов, возникающих при коммутации или индуктируемых грозовыми разрядами) вызывают появление в электроустановке токов нагрузки без возникновения токов замыкания на землю.

АВДТ типа S достаточно защищены против нежелательного срабатывания, в том числе, если импульсное напряжение вызовет ток замыкания на землю и возникнет сопровождающий ток.

Примечание – Устройства защиты от импульсных перенапряжений, установленные после АВДТ общего типа, подсоединённые обычным способом, могут вызвать нежелательные срабатывания.

АВДТ пригодны для разъединения.

В случаях, когда возможны перенапряжения со стороны питания (например, при питании от воздушных линий электропередач) могут быть необходимы специальные меры защиты, например грозовые разрядники (см. ГОСТ Р 50571.19).

Стандарт не распространяется на АВДТ, предназначенные для защиты двигателей.

II. Выдержки из ГОСТ [1] по техническим характеристикам устройств защитного отключения

3.3.1 Устройство защитного отключения: механический коммутационный аппарат, предназначенный для включения, проведения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации, а также размыкания контактов в случае, когда значение дифференциального тока достигает заданной величины в определённых условиях.

3.1 Определения, относящиеся к токам, протекающим от токоведущих частей в землю

3.1.1 Ток замыкания на землю: ток, протекающий в землю при повреждении изоляции.

3.1.2 Ток утечки на землю: ток, который протекает от токоведущих частей электроустановки в землю в отсутствие повреждения изоляции.

Таблица 2

Источник информации	Наименование	Обозначение
ГОСТ [1]	Устройство защитного отключения, управляемое дифференциальным током	УЗО
ГОСТ [5]	Автоматический выключатель без встроенной защиты от сверхтока, управляемый дифференциальным током	ВДТ
ГОСТ [6]	Автоматический выключатель с встроенной защитой от сверхтока, управляемый дифференциальным током	АВДТ
ГОСТ [3]	Устройство дифференциального тока без встроенной и со встроенной защитой от сверхтока, управляемое дифференциальным током	УДТ

3.1.3 Пульсирующий постоянный ток: ток в форме пульсирующей волны, который принимает в каждом периоде номинальной промышленной частоты значение «0» или значение, не превышающее 0,006 А постоянного тока в течение одного непрерывного промежутка времени, выраженного в угловых величинах не менее 150°.

3.1.4 Угол задержки тока: промежуток времени, выраженный в угловой величине, в течении которого устройство фазного управления задерживает пусковой момент протекающего тока.

3.1.5 Сглаженный постоянный ток: постоянный ток без пульсаций.

Примечание – ток считается без пульсаций, если коэффициент пульсации не превышает 10 %.

3.2 Определения, относящиеся к подводимым к УЗО величинам

3.2.1 Дифференциальный ток: действующее значение векторной суммы мгновенных значений тока, протекающих в главной цепи УЗО.

3.2.2 Отключающий дифференциальный ток: значение дифференциального тока, вызывающего отключение УЗО в заданных условиях эксплуатации (ток срабатывания).

3.2.3 Неотключающий дифференциальный ток: значение дифференциального тока, при котором и ниже которого УЗО не отключается в заданных условиях эксплуатации (ток несрабатывания).

5.2 Характеристики, общие для всех УЗО

5.2.1 Номинальный ток,

5.2.2 Номинальный отключающий дифференциальный ток.

5.2.3 Номинальный неотключающий дифференциальный ток.

5.2.4 Номинальное напряжение.

5.2.5 Номинальная частота.

5.2.6 Номинальная наибольшая включающая и отключающая способность.

5.2.7 Номинальная наибольшая дифференциальная включающая и отключающая способность.

5.2.8 УЗО с выдержкой и без выдержки времени.

5.2.9 Характеристики срабатывания при наличии составляющей постоянного тока

5.2.9.1 УЗО типа АС

УЗО, срабатывающее в условиях дифференциального синусоидального переменного тока, медленно или внезапно возрастающего.

5.2.9.2 УЗО типа А

УЗО, срабатывающее с управлением или без управления углом фазы, различной полярности, медленно или внезапно возрастающим в условиях:

- как УЗО типа АС;
- дифференциального пульсирующего постоянного тока;
- дифференциального пульсирующего постоянного тока, превышающего значение постоянного тока на 0,006 А.

5.2.9.3 УЗО типа В

УЗО, срабатывающее с управлением или без управления углом фазы, различной полярности, медленно или внезапно возрастающим в условиях:

– как УЗО типа А;

– дифференциального синусоидального переменного тока частотой до 1000 Гц;

– дифференциального переменного тока, наложенного на сглаженный постоянный ток значением 0,4 номинального отключающего дифференциального тока;

- дифференциального пульсирующего постоянного тока, наложенного на сглаженный постоянный ток значением 0,4 номинального отключающего дифференциального тока или 10 мА, выбирается большее значение;

– дифференциального постоянного тока, являющегося результатом выпрямленного тока, например:

a) при соединении между двумя фазами для двух-, трёх- или четырёхполюсных аппаратов;

b) при трёхфазном соединении звездой или при шестиэлементном мостовом соединении для трёх- и четырёхполюсных аппаратов;

– сглаженного постоянного тока.

5.4.12 Стандартные значения времени отключения

В табл. 2 приведены обозначения УЗО, применяемые в нормативных документах.

Комментарий:

– в каталогах различных изготовителей автоматический выключатель АВДТ модульного исполнения с встроенной защитой от сверхтока, управляемый дифференциальным током, называется «дифференциальный автомат»;

– источниками пульсирующего постоянного дифференциального тока являются принтеры, факсы, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, магнитофоны, светильники с люминесцентными лампами и электронными ПРА и др.;

– на корпусах или внутри корпусов автоматических выключателей с номинальным током 16–6300 А, выпускае-

мых изготовителями, предусматривается установка расцепителей дифференциального тока типов АС, А и В, в том числе с регулируемой выдержкой времени;

– изготовители выпускают также автоматические выключатели, которые могут работать совместно с реле дифференциального тока и внешним трансформатором, устанавливаемым дополнительно после монтажа автоматических выключателей;

– в групповых линиях персональных компьютеров установка УЗО, как правило, не требуется;

– УЗО должны отключать электрические цепи только в аварийном режиме электроустановки здания, когда в них начинают протекать токи замыкания на землю. В нормальном режиме электроустановки здания УЗО не должны срабатывать. Для исключения ложных срабатываний следует учитывать максимальные токи утечки, которые могут появиться в подключённых к УЗО электрических цепях – электроприёмниках и электропроводках;

– для гарантированного исключения ложных срабатываний УЗО максимальный синусоидальный ток утечки в электрических цепях, подключённых к УЗО типов АС и А, должен быть меньше половины его номинального отключающего дифференциального тока. Максимальный пульсирующий постоянный ток утечки в электрических цепях, подключённых к УЗО типа А, должен быть меньше 0,11 его номинального отключающего дифференциального тока;

– значения токов утечки электрооборудования приведены в нормативных документах или могут быть получены от изготовителей электрооборудования;

– при отсутствии этих данных следует использовать пункт 7.1.83 ПУЭ: ток утечки электроприёмников следует принимать из расчёта 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки сети – из расчёта 10 мкА на 1 м длины фазного провода;

– учитывая использование большого числа современных электроприемников, которые могут являться источником пульсирующих постоянных токов утечки и замыкания на землю, в электроустановках зданий целесообразно применять УЗО типа А. В обоснованных случаях предусматриваются УЗО типа АС;

– применение УЗО следует указывать в задании на проектирование.

III. Область применения устройств защитного отключения в электроустановках зданий и сооружений с указанием нормативных документов и комментариями

• **ГОСТ [3]**

410.1 Область применения

Стандарт устанавливает основополагающие требования к защите от поражения электрическим током людей и животных, включающей в себя основную защиту и защиту при повреждении, координацию этих требований в соответствии с внешними воздействиями и требования к применению дополнительной защиты в необходимых случаях.

411.3.3 Дополнительная защита

В системах переменного тока дополнительная защита посредством защитного устройства дифференциального тока (УДТ) в соответствии с 415.1 должна быть предусмотрена для:

– штепсельных розеток, предназначенных для общего применения, с номинальным током, не превышающим 20 А, которые используют обычные лица;

– передвижного оборудования с номинальным переменным током, не превышающим 32 А, которое используют вне здания.

Примечание 1 – Исключение может быть сделано для:

– штепсельных розеток, предназначенных для использования под наблюдением квалифицированного или инструктированного персонала, например, в некоторых коммерческих или производственных помещениях или

– специальной штепсельной розетки, предусмотренной для присоединения одного электроприёмника,

Комментарий к пункту 411.3.3:

– в соответствии с пунктом 411.3.3 установку УДТ с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА необходимо предусматривать в групповых сетях штепсельных розеток с номинальным током 20 А, устанавливаемых в квартирах жилых домов, коттеджах, индивидуальных жилых домах и садовых домиках;

– установку УДТ с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА целесообразно также предусматривать в групповых сетях электроплит 220 В, монтируемых в квартирах жилых домов, коттеджах, индивидуальных жилых домах и садовых домиках.

411.4 Система TN

411.4.5 В системах TN для защиты при повреждении (защиты при косвенном прикосновении) могут быть использованы следующие защитные устройства:

– устройства защиты от сверхтока;

– УДТ.

Примечание 1 – Если для защиты при повреждении используют УДТ, цепь должна также быть защищена устройством защиты от сверхтока в соответствии с ГОСТ [8].

УДТ не должно применяться в системе TN-C. При применении УДТ в системе TN-C-S PEN-проводник не должен быть использован на стороне нагрузки.

Присоединение защитного проводника к PEN-проводнику должно осуществляться на стороне источника питания по отношению к УДТ.

Примечание 2 – Обеспечение селективности между УДТ – по 535.3 ГОСТ [4].

411.5 Система TT

411.5.2 В системах TT для защиты при повреждении следует применять УДТ. Устройства защиты от сверхтока могут быть применены для защиты при повреждении при условии, что надёжно гарантировано соответствующее постоянно низкое Z_s.

Если для защиты при повреждении используют УДТ, цепь должна быть также защищена устройством защиты от сверхтока.

Примечание 1 – Если для защиты при повреждении используют УДТ, цепь должна быть также защищена устройством защиты от сверхтока в соответствии с ГОСТ [8].

411.5.3 При использовании для защиты при повреждении должны быть выполнены следующие условия:

– время отключения должно соответствовать требованиям 411.3.2.2 или 411.3.2.4 и

– $R_A \cdot I_{\Delta n} \leqslant 50$ В, где

R_A – сумма сопротивлений заземлителя и защитного проводника для открытых проводящих частей, Ом, и $I_{\Delta n}$ – номинальный отключающий дифференциальный ток УДТ.

411.4 Система IT

411.6.3 В системах IT могут быть использованы следующие контролирующие и защитные устройства:

– устройства контроля изоляции (УКИ);

– мониторы (устройства контроля) дифференциального тока (МДТ);

– системы определения места повреждения изоляции;

– устройства защиты от сверхтока;

– УДТ.

415.1 Дополнительная защита: УДТ

415.1.1 Применение УДТ с номинальным отключающим дифференциальным током, не превышающим 30 мА, в системах переменного тока считают дополнительной защитой в случае отказа одной из мер для основной защиты и (или) защиты при повреждении или неосторожности пользователей.

415.1.2 Применение таких УДТ не может быть единственным средством защиты и не исключает необходимости применения одной из защитных *мер*, указанных в 411–414.

• **ГОСТ [9]**

420.1 Область применения

Стандарт устанавливает требования в части мер для защиты людей, домашнего скота и материалов от:

– тепловых воздействий, сгорания или повреждения материалов и риска возникновения пожара, связанных с использованием электрооборудования;

– распространения пожара, вызванного воздействием электрических установок в другие примыкающие пожарные отсеки;

– ухудшения безопасного функционирования электрооборудования, включая системы обеспечения безопасности.

422.3 Помещения с наличием пожароопасных обрабатываемых или складируемых материалов

Код класса внешних воздействий – BE2 по МЭК 60364–5–51, таблица 51 А.

Комментарий

В таблице 51А ГОСТ [10] указаны пожароопасные помещения. на которые распространяются требования ГОСТ [9], в том числе по применению УЗО:

– производства по переработке и хранению горючих материалов, в том числе с наличием пыли;

– амбары, деревообрабатывающие цеха, бумажные фабрики.

422.3.9 Групповые (конечные) цепи и использующее электрический ток оборудование должны быть защищены от повреждения изоляции следующим образом:

a) в TN и TT системах должны использоваться устройства защиты по дифференциальному току с расчётным дифференциальным током срабатывания менее 300 мА. Там, где резистивные отказы могут вызвать пожар, например, для нагревателей с использованием плёночных элементов, расчётный дифференциальный ток срабатывания должен быть менее 30 мА;

b) в IT системах должны быть установлены устройства контроля изоляции, контролирующие установку в целом, или устройства защиты по дифференциальному току в групповых (конечных) цепях, со звуковой и световой сигнализацией. Альтернативно могут использоваться устройства защиты по дифференциальному току с расчётным дифференциальным током срабатывания как определено в перечислении a). При втором отказе максимальное время отключения следует выбирать по таблице 41.1 ГОСТ [3].

Кабели с минеральной изоляцией и магистральные шинопроводы не считаются вероятными источниками пожара при повреждении изоляции и не требуют защиты.

Примечание – Рекомендуются к применению кабели с металлическим покрытием. Металлическое покрытие должно быть соединено с защитным проводником.

Комментарий:

– При проектировании электрооборудования помещений с наличием пожароопасных обрабатываемых или складируемых материалов следует руководствоваться требованиями пункта 422.3 ГОСТ [9] по применению УДТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 60755–2012 «Общие требования к защитным устройствам, управляемым дифференциальным (остаточным) током».
2. ГОСТ IEC61140–2012 «Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования».
3. ГОСТ Р 50571.3–2009 (МЭК 60364–4–41:2005) »Электроустановки низковольтные. Часть 4–41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током».
4. ГОСТ Р 50571.5.53–2013/МЭК 60364–5–53:2002 «Электроустановки низковольтные. Часть 5–53. Выбор и монтаж электрооборудования. Отделение, коммутация и управление».
5. ГОСТ Р 51326.1–99 (МЭК 61008–1–96) »Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний».
6. ГОСТ Р 51327.1–2010 (МЭК 61009–1:2006) »Выключатели автоматические, управляемые дифференциальным током, бытового и аналогичного назначения со встроенной защитой от сверхтоков. Часть 1. Общие требования и методы испытаний».
7. 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 для переменного тока».
8. ГОСТ Р 50571.4.43–2012 (МЭК 60364–4–43:2008) »Электроустановки низковольтные. Часть 4–43. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока».
9. ГОСТ Р 50571.4.42–2012/МЭК 60364–4–42:2010 «Электроустановки низковольтные. Часть 4–42. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий».
10. ГОСТ Р 50571.5.51–2013/МЭК-60364–5–51:2005 «Электроустановки низковольтные. Часть 5–51. Выбор и монтаж электрооборудования. Общие требования».

Р.И. Пашковский, инженер-проектировщик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге

Продолжение в следующем номере журнала

Прогнозирование технического ресурса светильников со светодиодами[1]

Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ
ООО «ВНИСИ им. С.И. Вавилова», Москва
E-mail: stoly@rambler.ru

Аннотация

Публикация посвящена краткому обзору международных разработок в области определения полезного срока службы светодиодных источников света и осветительных приборов на их основе. Выполнен анализ материалов Североамериканского светотехнического общества (*IESNA*) под рубрикациями *LM* и *TM*, стандартизирующих методы определения изменений во времени световых и цветовых характеристик осветительных приборов со светодиодами и рекомендующих методики обработки результатов с целью прогнозирования срока службы осветительных приборов.

Ключевые слова: технический ресурс, полезный срок службы, спад светового потока, коррелированная цветовая температура (КЦТ), распределение Вейбулла, соотношение Аррениуса.

1. Процессы деградации

Полезный срок службы или технический ресурс – это продолжительность функционирования изделия до достижения им предельного состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация нежелательна или невозможна из-за снижения эффективности или возросшей опасности для среды обитания. Изменение основных характеристик осветительных приборов (ОП) с любыми источниками света (ИС), а не только со светодиодами (СД), происходит из-за процессов деградации, имеющих различную физическую и химическую природу. Исследования, выполненные в Светотехническом центре Ренсселеровского политехнического института (*Rensselaer Polytechnic Institute*) в США (данные ещё 2006–2008 г.г.) [1], это очень наглядно демонстрируют (рис. 1).

1.1. Светодиод и процессы его деградации

Физические основы работы полупроводниковых источников света позволяют весьма оптимистично говорить о их долгосрочном техническом ресурсе как об одном из основных преимуществ внедрения ОП с СД. Изменение эффективности СД ИС (имеются в виду преимущественно белые СД на основе кристалла и люминофора) связано с процессами деградации. Рис. 2 демонстрирует, насколько это сложный прибор, содержащий большое количество элементов, процессы старения которых могут подчиняться совершенно разным закономерностям.

Основными элементами СД, влияющими на его ресурс, являются:

Кристалл, который кроме собственно способности излучать свет с высокой эффективностью, должен иметь хорошую оптическую прозрачность (для обеспечения свободного выхода квантов излучения из активной области) и хорошую электрическую проводимость (для снижения активных потерь при прохождении тока), а также удовлетворять многим критериям технологичности производства.

Слой люминофора или смеси люминофоров, который подбирается весьма тщательно, так как кроме достаточно широкого спектра излучения, активный материал и вещество, которое играет роль носителя, должны обеспечивать минимальный уровень безызлучательных рекомбинаций. Особое внимание уделяется температурной стойкости и стабильности при длительной работе [2] (рис. 3). Способ нанесения люминофора во многом определяет цветовые и фотометрические характеристики, в том числе пространственное распределение цветовых характеристик и яркости.

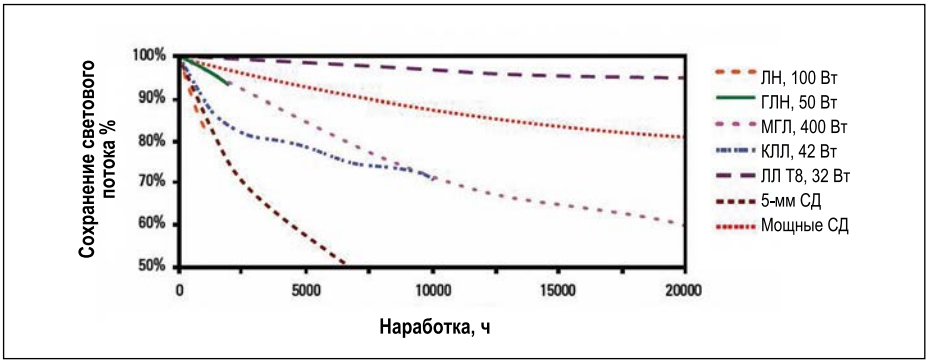


Рис. 1. Типичные спады световых потоков различных ИС [1]

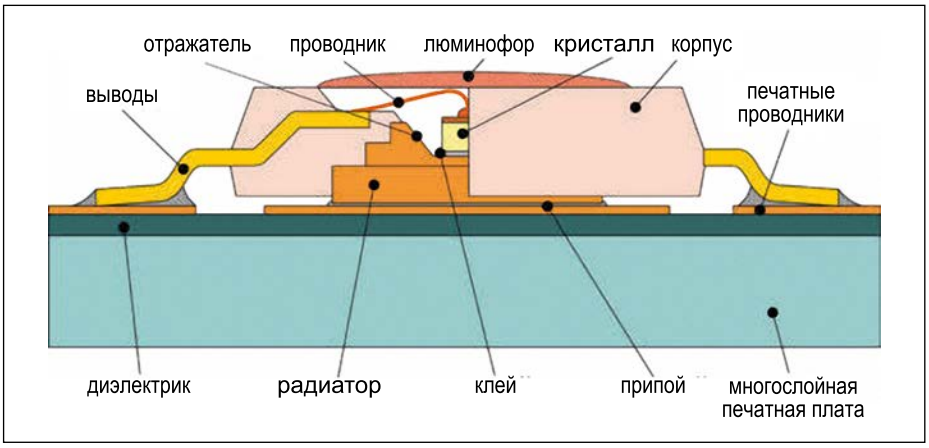


Рис. 2. Элементная база белого СД

[1] Публикация подготовлена на основе доклада на конференции, проводившейся в рамках выставки *Interlight Moscow powered by Light+Building*, 10.11.2016

Кристаллодержатель на основе меди или другого материала, который обрабатывается специальным образом для создания хороших отражающих свойств и максимальной теплопроводности. Современные конструкции СД позволяют обеспечить достаточно низкое тепловое сопротивление, например, за счёт поверхностного монтажа (*SMD* технология) теплопроводного элемента корпуса светильника. Кристаллодержатель обычно сочетает в себе и функцию отражателя света, поскольку часть излучения кристалла, а также часть рассеянного в слое люминофора света возвращается обратно.

Клей или эвтектический сплав, который служит для крепления кристалла СД в корпусе и должен обеспечивать прочность соединения, хороший и равномерный электрический контакт и отличную теплопроводность. Кроме этого, он должен иметь хорошую отражающую способность и выдерживать длительное воздействие высокой температуры.

Отражатель, форма и размеры которого выбираются так, чтобы совместно с оптической линзой он формировал необходимое пространственное распределение силы света прибора. Для увеличения отражающей способности, поверхности кристаллодержателя, отражателя и токоподводящих элементов могут иметь специальные покрытия из различных материалов, от простых вариантов из серебра и алюминия до сложных композитных покрытий.

Защитный компаунд, который защищает структуру СД и линзу (в случае необходимости фокусирования светового потока) от коррозии и воздействия окружающей среды.

Токоподводящие элементы, которые подводят ток к верхней, направленной наружу, стороне полупроводникового кристалла. Эти элементы и способы их крепления должны, с одной стороны, обеспечить хороший контакт и низкое активное сопротивление току, а с другой стороны, не должны препятствовать выходу излучения.

Под действием теплового и электрического перенапряжения во всех элементах СД ИС могут происходить те или иные процессы деградации: образование ядра и рост дислокаций несоответствия на дефекте кристалла; образование дислокаций в основании прибора; переход полимерной субстанции из состояния стеклования в фазу вязкой жидкости с расширением; деградация люминофоров самой разной природы, например, в результате окислении; изменения в кристаллической решётке, обусловленные диффузией; химическое взаимодействие с окружающей средой; температурный эффект (перегрев).

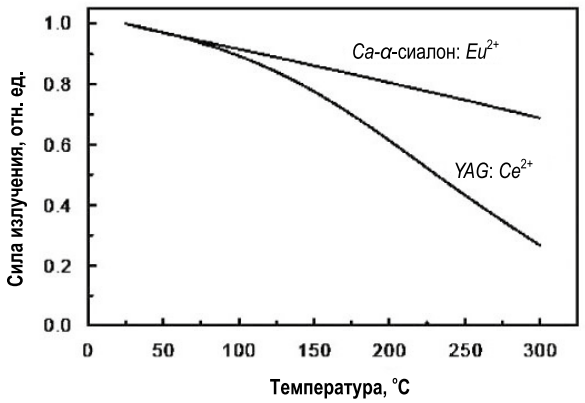


Рис. 3. Изменение силы излучения люминофора при повышении температуры

1.2. Технический ресурс и программы Министерства энергетики США

Внедрение ОП с СД в системы внутреннего и внешнего освещения в США идёт быстрыми темпами. При этом Министерство энергетики США уделяет большое внимание оценке качества этого продукта на рынке страны через различные программы поощрения производителя и потребителя, а также посредством государственных вложений в оценку качества продукции [3]. Одновременно осуществляется и программа поддержки институтов, разрабатывающих методики измерений, оценки и прогнозирования. В табл. 1 приведён перечень разработанных *NIST* (Национальный институт стандартов и технологий США) и *ANSI* (Североамериканский институт стандартов) и одобренных и утверждённых *IESNA* меморандумов-рекомендаций типа *LM* для сбора данных по спаду светового потока и изменению цветности и типа *TM* по методикам прогнозирования технического ресурса на основе этих данных.

Если до недавнего времени в практике измерений фотометрических и колориметрических характеристик приборов с СД рекомендовалось обращаться к документу *IESNA LM-79*, то сегодня основополагающим стандартом международного ранга является стандарт МКО *S025/E:2015* «Методы испытаний СД ламп, ОП с СД и СД модулей» [4]. Этот стандарт определяет условия выполнения воспроизводимых световых и цветовых измерений характеристик СД ламп, СД модулей и ОП с СД (далее – приборы с СД), регламентирует формы отчётов и таблиц для образования базы данных. Доступность надёжных и точных значений характеристик приборов с СД – основное требование для проектирования систем освещения и оценки исполнения этих проектов.

Получая данные посредством измерений в определённых нормализованных условиях, их можно сопоставлять в рамках сличений между различными лабораториями (в пределах заявленной неопределённости или погрешности измерений). Стандарт регламентирует требования к измерениям электрических, фотометрических и колориметрических характеристик СД ламп, ОП с СД и СД модулей при работе на переменном или постоянном токе. СД генераторы света (*light engines*) по процедуре испытаний приравниваются к СД модулям. Характеристики испытываемых приборов с СД включают в себя полный световой поток, световую отдачу, парциальный световой поток, распределение силы света, осевую силу света, яркость и распределение яркости, координаты цветности, КЦТ, индекс цветопередачи, угловую однородность цветовых характеристик. Стандарт не распространяется на СД источники света (ИС) и органические СД. Практически все методики серии *LM*, кроме введённых в действие в 2015 г., в которых дополнительно рассматриваются вопросы измерения энергетического потока излучения и фотонного потока, соответствуют методикам измерений этого стандарта МКО.

Таблица 1

Нормативная база оценки технического ресурса ОП с СД в США

IES LM-79–08: *Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products* ***IES LM-80–08:*** *Methods for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources* ***IES LM-85–14:*** *High Power LED Electrical and Photometric Test* ***IES LM-82–12:*** *Characterization of LED Light Engines and LED Lamps for Electrical and Photometric Properties as a Function of Temperature* ***IES LM-84–14:*** *Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires* ***IES LM-86–15:*** *Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of Remote Phosphor Components*	***LM-79–08:*** *Электрические и фотометрические измерения светотехнических изделий с СД* ***LM-80–08:*** *Методы измерения спада светового потока СД ИС* ***LM-85–14:*** *Электрические и фотометрические испытания мощных СД* ***LM-82–12:*** *Оценка температурных зависимостей электрических и фотометрических характеристик СД генераторов света и СД ламп* ***LM-84–14:*** *Измерения спада светового потока и изменения цветности СД ламп, СД генераторов света и ОП с СД* ***LM-86–15:*** *Измерения спада светового потока и изменения цветности деталей с отдалённым люминофором*
TM-21–11*: Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources* ***TM-28–14****: Projecting Long Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires.* ***TM-26–15****: Methods for Projecting Catastrophic Failure Rate of LED Packages*	***TM-21–11:*** *Долгосрочное прогнозирование сохранения светового потока СД ИС* ***TM-28–14****: Долгосрочное прогнозирование сохранения светового потока СД ламп и ОП с СД* ***TM-26–15****: Методы прогнозирования катастрофических отказов СД сборок*

Необходимо отметить, что в арсенале российских документов в части определения деградации ОП имеется ГОСТ Р 54350–2015 и его пункт 10.15 [5]. Это испытание не даёт никаких прогнозов. Оно позволяет установить наличие или отсутствие существенных процессов деградации по результатам относительных измерений спада светового потока и изменения КЦТ в климатических камерах при заданных температурах наблюдения. Результаты относительных измерений сравниваются с измерениями в лабораторных условиях при температуре 25 °С. Основные особенности этой метрики ОП с СД – это использование методик абсолютной фотометрии и рекомендации – по широкому применению спектрорадиометрического подхода при измерениях световых и цветовых характеристик приборов с СД.

2. Методики определения стабильности фотометрических характеристик ОП с СД

2.1. Основополагающие методики серии *LM* (рис. 4)

Первая методика, скрупулёзно регламентирующая процедуру сбора данных по спаду светового потока для СД ИС, была создана в 2008 г. Сегодня этот документ (*LM-80*) переработан и принят в версии 2015 г. Помимо оценки стабильности светового потока, требования пополнились измерениями изменений цветности (МКО 1976 u', v'), спада потока фотонов и стабильности потока излучения. Это связано с тем, что есть необходимость измерения как энергетических, так и фотонных характеристик излучения. Кроме того, документ 2008-го года распространяется только на СД ИС, тогда как документ 2015-го года регламентирует методы измерения и сбор данных по изменению фотометрических и фотонных характеристик как для СД ИС, так и для СД модулей и СД сборок. Помимо расширения задач в части определения изменения цветности во времени (МКО 1976 u', v'), оценки спада потока фотонов и спада потока излучения, документ включает большую область применения систем питания СД: источник питания постоянного тока, источник питания постоянного напряжения, источник питания переменного тока с регулируемым напряжением, источник питания с ШИМ модуляцией тока. При этом процедура испытаний включает в себя прежние требования стандарта 2008-го года: продолжительность испытаний не менее 6000 ч (рекомендуется 10–15 тыс. ч), сбор данных минимум через каждые 1000 ч, и испытания должны выполняться при двух температурах отжига *Ts*, равных 55 и 85 °С. Основная задача документа – обеспечение жёсткого соблюдения единых условий выполнения измерений с целью достоверного и объективного сравнения результатов испытаний различными лабораториями одного и того же типа продукции.

Рис. 4. Стандарты *IESNA* серии *LM*

2.2. Принципиальные различия методик серии *LM*

Стандарт *IES LM 85–14* посвящён электрическим и фотометрическим испытаниям мощных СД. Основная проблема при этом – температурные нагрузки *p-n*-перехода при больших токах. Для получения достоверных результатов измерений в лабораторных условиях после извлечения приборов из климатической камеры необходим дополнительный отвод тепла или импульсный режим измерений, при котором нужно успеть измерить спектральное распределение источника излучения. Целью документа является создание методики воспроизводимых измерений полного светового потока, полного потока излучения, электрической мощности, световой отдачи и цветовых характеристик мощных СД, используемых в системах общего освещения. Метод распространяется на СД сборки и СД узлы (*LED assembly*) и не распространяется на СД модули и СД генераторы света. Методика включает процедуры измерений в импульсном и непрерывном режимах работы и не распространяется на УФ СД и СД, работающие на переменном токе.

Стандарт *IES LM-82–12* – это методика определения температурных зависимостей электрических и фотометрических характеристик СД генераторов света и СД-ламп с встроенными устройствами управления (УУ), т.е. с учётом УУ. Документ описывает процедуру проведения испытаний и условия обеспечения воспроизводимых и сопоставимых между лабораториями результатов при всех заданных температурах. Отчёт об испытаниях должен содержать данные о температуре, при которой проводились испытания, полном световом потоке испытываемого образца, потребляемой электрической мощности и цветности. При этом производитель изделия должен указать точки измерения температуры прибора с СД и его УУ, *Tb* и *Td* соответственно. Измерения выполняются в камерах тепла и холода, и полученные результаты сравниваются с результатами лабораторных измерений, выполненных при 25 °C.

Стандарт *IES LM-84–14* – это методика измерения спада светового потока и изменения цветности СД ламп, СД генераторов света и ОП с СД. Он, также как и все остальные стандарты серии *LM*, базируется на *LM 80* и *LM 79*. Методика распространяется на СД лампы как с встроенными УУ, так и без них, СД генераторы света и ОП с СД. Все измерения выполняются при температуре 25± 5 °C. В каждом интервале измерений, выполняемых в соответствии со стандартом *LM-79–08*, испытываемое устройство вынимается из испытательной камеры и переносится в лабораторию. После выполнения измерений прибор возвращается на место работы. Отчёт должен содержать: идентификацию испытательной лаборатории, условия выполнения испытаний (температура, влажность, ориентация прибора), информацию о времени проведения испытаний, описание измерительного оборудования, описание испытываемого прибора, таблицу результатов измерений, включающих: продолжительность наблюдения спада характеристик и все измеренные значения характеристик.

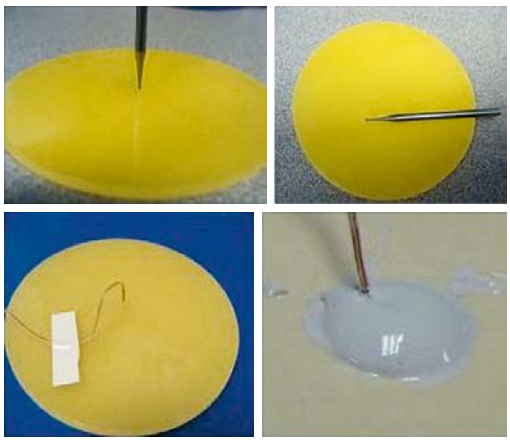


Рис. 5. Контактные методы измерения температуры поверхности люминофора

Стандарт *IES LM –86–15* рекомендует метод испытаний, соответствующий методике *LM-80*, с отличием в том, что объектом испытаний является люминофор, а не светодиод. Испытания включают в себя: измерение освещённости люминофора на специальной испытательной платформе; контроль температуры люминофора (рис. 5); измерения светового потока, излучаемого поверхностью люминофора.

Порядок выполнения измерений следующий:

– измерение температуры корпуса платформы;

– определение доминантной (пиковой или центроидной) длины волны излучения СД накачки;

– измерение облучённости на поверхности люминофора и определение падающего на люминофор потока излучения $\Phi_{e,\ incident}$, создаваемого СД накачки;

– измерение равномерности распределения облучённости (она должна быть не меньше, чем 0,6);

– определение светового потока $\Phi_{v,\ emit}$, создаваемого поверхностью люминофора;

– расчёт эффективности преобразования K_{conv} в определённый интервал времени:

$$K_{conv} = \Phi_{v,\ emit}/\Phi_{e,\ incident.} \qquad (1)$$

Таким образом, измеряются характеристики кристалла и равномерность облучённости, а также температуры корпуса, наружной поверхности люминофора и его внутренней поверхности. Характеристики СД накачки должны оставаться неизменными, а при существенных изменениях характеристик исходного кристалла он заменён на аналогичный источник света. Продолжительность испытания и требования к его условиям и отчётности такие же, как и в *LM-80*.

В рамках проекта Министерства энергетики США [3] устранение необходимости проверки продукта в целом обещает упростить испытания, требуемые для получения права на сертификат энергоэффективности *Energy Star*.

Что касается приборов с отдалённым люминофором, то результаты проведённых исследований говорят о том, что освещённость, создаваемая излучением синего кристалла, и температура поверхности люминофора являются ключевыми переменными, определяющими световой поток отдалённого люминофора. Если освещённость определена количественно, и поверхностная температура отдалённого люминофора измерена, то эффективность у СД

прибора с отдалённым люминофором может периодически измеряться, и долговременная стабильность или спад эффективности могут быть определены.

3. Прогнозирование полезного срока службы – технического ресурса

Арсенал методик прогнозирования срока службы на базе результатов наблюдения спада характеристик СД ИС и ОП с СД по методикам серии *LM* составляют в настоящее время три методики серии *TM* (табл. 1 и рис. 6). В них отражены вопросы прогнозирования долговременной стабильности светового потока СД ИС (основополагающий документ); прогнозирования долговременной стабильности светового потока СД ламп и ОП с СД и прогнозирования номинальных катастрофических отказов для СД ИС. Методики разработаны при участии ведущих экспертов *NIST*. Длительный эксперимент выполнялся с помощью специальной установки [6, 7], которая была собрана на базе интегрирующей сферы диаметром 1 м и позволяет проводить испытания на старение и измерение оптических характеристик 480-ти СД при шести условиях испытаний в диапазоне температур от 25 до 115 °С. Температура образцов при проведении испытаний и измерений поддерживается с точностью ± 0,05 °С. Стабильность температурного режима, а также возможность проводить частые измерения без изменения компоновки установки, позволяют получать обладающие высоким разрешением базы данных, что, в свою очередь, подтвердило допустимость применения выбранных моделей прогнозирования сроков службы изделий с СД.

3.1. Теоретические основы прогнозирования технического ресурса в стандартах серии *TM*

Данные, полученные в результате проведённых в соответствии с *LM-80* испытаний спада светового потока СД ИС в течение не менее 6000 ч с интервалом 1000 ч (большее время испытания с меньшим интервалом между измерениями только приветствуется), представляются в виде таблицы для набора образцов. При этом рекомендуемый набор составляет 20 образцов, а значение светового потока для, например, 0 ч приравнивается к 1 для каждого образца. Далее фиксируются отклонения от 1 после каждого измерения, после чего эти отклонения суммируются и усредняются по всем образцам. Затем по усреднённым данным (за вычетом первых 1000 ч, т.е. времени первичного отжига, который, как правило, улучшает характеристику), методом наименьших квадратов выполняется аппроксимация экспоненциальной кривой (2) и определяется a –скорость спада светового потока.

Рис. 6. Стандарты *IESNA* серии *TM*

$$\Phi_i(t) = B\exp(-\alpha\ t) \qquad (2)$$

где $\Phi_i(t)$ – усреднённый относительный световой поток, соответствующий времени наработки прибора t в часах, B – начальное значение светового потока, a скорость спада светового потока, определяемая по кривой спада методом наименьших квадратов. Используя выражение (3), можно прогнозировать срок службы L_p:

$$L_p = \frac{\ln(100x\frac{B}{p})}{\alpha}, \qquad (2)$$

где p – доля в процентах от первоначального значения светового потока.

L_{70} и даже L_{50} рекомендуется определять в предположении сохранения прибором характеристик, соответствующих требованиям полезного срока службы.

Если рассматривать спад светового потока во времени с точки зрения дополнительных температурных нагрузок, то скорость деградации моделируется уравнением, которое было получено шведским химиком Сванте Аррениусом на основе теории термодинамики применительно к температурной зависимости химической реакции:

$$\alpha_i = A\exp(\frac{-E_a}{k_B T_{s,i}}), \qquad (4)$$

где A –предэкспоненциальный множитель; E_a – энергия активации, эВ; $T_{s,\,1}$ – температура в месте нахождения прибора, К; k_B –постоянная Больцмана ($8{,}6173 \cdot 10^{-5}$ эВ/К). Определив скорости спада потока a_1 и a_2 для двух соответствующих температур T_1 и T_2, можно определить отношение

$$\frac{E_a}{\kappa_B} = \frac{\ln a_1 - \ln a_2}{\frac{1}{T_{s,2}} - \frac{1}{T_{s,1}}}. \qquad (5)$$

По формуле (5) можно рассчитать предэкспоненциальный множитель A для температуры $T_{s,1}$

$$A = a_1\exp(\frac{E_a}{k_B Ts,i}). \qquad (6)$$

Зная предэкспоненциальный множитель, можно по формуле (5) рассчитать скорость реакции для любой температуры внутри диапазона температур $T_1 - T_2$. При этом, считая входящее в (2) начальное значение светового потока $B = \sqrt{B_1 B_2}$, можно рассчитать L_p по формуле (3) и световой поток $\Phi(t)$ по формуле (2) также для любой температуры внутри диапазона температур $T_1 - T_2$.

Стандарт *IES TM-28–14* рекомендует методику прогнозирования долговременной стабильности светового потока СД ламп и ОП с СД. Данные, на которых базируется прогнозирование, берутся из базы данных, полученных на основе *LM-80* и *LM-84*. Предлагаются два метода. Первый – это использование тех же самых соотношений, что и в *TM-21–11*, но для меньшего набора образцов (от 3 до 5). Второй – комбинированное использование данных для СД сборок по *LM-80* и *LM-84–14* для одних и тех же временных и температурных условий.

Если скорости изменения световой характеристики для СД ИС и для ОП с СД совпадают, можно смело прогнозировать для ОП с СД полезный срок службы, указанный производителем в спецификации для СД ИС, а если нет, то предлагается следующая модель оценки:

$$\Delta a = a_{LM-84} - a_{LM-80}; \quad (7)$$

$$\ln[r(t)] = \Delta a t + b;$$

$$\Phi(t) = B \cdot \frac{\exp[-(a+\Delta a)\cdot t]}{\exp(b)};$$

$$L_p = \frac{(100x\frac{B}{p}) - b}{a + \Delta a},$$

где *r(t)* – набор отношений, полученных для разного времени отжига *t* прибора с СД (*LM*-84) и СД (*LM*-80), использованного при создании этого прибора, *Δa* – наклон аппроксимирующей кривой, *b* – точка пересечения с осью координат.

3.2. Катастрофические отказы

Стандарт *IES TM-26–15* на прогнозирование катастрофических отказов базируется на теории надёжности динамических систем, теории отказов таких систем и математических моделях прогнозирования. Начальный участок типичной кривой катастрофических отказов связан с выявлением недостатков использованных компонентов, погрешностей проектирования и технологии изготовления, выявляющихся на стадии разработок, вторая часть – это нормальный период работы, а в третий период начинают сказываться процессы старения и деградация. Стандарт представляет собой объёмный документ, содержащий несколько методик оценки катастрофических отказов. Для проведения эксперимента также нужны климатические камеры и оборудование для измерения характеристик оптического излучения. Самые простые методы выявления катастрофических отказов за время нормального периода работы – это испытания при температурных нагрузках и повышении потребляемого тока. Частота проявления катастрофических отказов выражается числом отказов на 10^9 часов работы СД сборки (*IES TM*-26-15, п. 3.2). В период нормальной работы вероятность катастрофических отказов предлагается моделировать экспоненциальной кумулятивной функцией распределения во времени:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (8)$$

где *t* – время, ч; λ – частота отказов, $ч^{-1}$. Самый простой предлагаемый метод сбора и обработки данных заключается в табличном представлении данных об отказах в зависимости от температуры *p-n*-перехода и тока питания (максимального, номинального и минимального) или температуры места нахождения прибора и максимального тока питания. Более сложные методы базируются на моделях, учитывающих температурные π_T и токовые π_I зависимости стресс-факторов [8–10]:

$$\lambda = \lambda_{ref} x\, \pi_I x\, \pi_T, \quad (9)$$

где λ_{ref} – число отказов при определённых условиях, например, при 45 °C и 50 % максимального тока.

4. Заключение

1. Предлагаемые *IESNA* методики сбора данных серии *LM* и методики прогнозирования на их основе полезного срока службы серии *TM* требуют больших временных, финансовых и трудовых затрат. Кроме того, к испытательным лабораториям предъявляются определённые требования в части их оснащения современными спектрорадиометрическими измерительными комплексами, климатическими камерами, гониофотометрами, фотометрами изображения и традиционными *V(λ)* фотометрами с высоким качеством коррекции ($f'_1 < 1$).

2. Необходима разработка ускоренных методов исследования деградации, например, отжиг при повышенных температурах, что позволит повысить скорость процессов деградации при условии сохранения её физико-химической природы, но требует на стадии разработки, практически, тех же затрат, что и по пункту 1 заключения.

3. Один из возможных подходов ускоренной методики – это возможность измерения температуры *p-n*-перехода готового СД прибора и его сравнение со спецификацией СД, входящего в его состав. Для этого необходимо, чтобы в конструкции ОП с СД были предусмотрены специальные точки доступа для контактного измерения температуры *p-n*-перехода и УУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Источник информации: Adapted from Bullough, JD. 2003. Lighting Answers: LED Lighting Systems. Troy, NY. National Lighting Product. Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.

2. *Xie, Rong-Jun* (2007). Silicon-based oxynitride and nitride phosphors for white LEDs. A review // Sci. Technol. Adv. Mater. – 2007. – No. 8. – P. 588.

3. https://energy.gov/energysaver/energy-saver (дата обращения 26.12.2016)

4. CIE standard IS025 2015 « Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules».

5. ГОСТ Р54350–2015 «Лампы, Светильники и Модули Светодиодные Методы измерения фотометрических и колориметрических характеристик».

6. *Зонг Ю., Хьюлетт Д.* Разработка полностью автоматизированной установки для испытаний светодиодов на срок службы // Светотехника. – 2013. – № 3. – С. 24–28.

7. *Zong, Y., Hulett, J.* Development of a Fully Automated LED Lifetime Test System // Light & Engineering. – 2013. – No. 2. – P. 47–56.

8. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. Chapter 8- Assessing Product Reliability. http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm

9. *Abernetty, R.B.* The New Weibull Handbook, 5th Ed., Published and Distributed by Dr. Robert Abernethy, 2006. ISBN: 09653062–3–2.

10. *Dodson, B.* The Weibull Analysis Handbook, 2nd Ed., 2006, ASQ Quality Press. ISBN: 978087389–667–2.

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

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2017 ГОДУ (II ПОЛУГОДИЕ)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
11–13.07	***SEMICON WEST* 2017** Международная выставка полупроводниковых материалов и устройств с конференцией	**Сан-Франциско, США** terra-expo.com
05–07.09	***Shanghai International Lighting Fair*** Международная светотехническая выставка с конференцией	**Шанхай, КНР** lightsearch.com
06-09.09	***China International Optoelectronic Exposition (CIOE)*** Международная выставка оптоэлектроники с конференцией. Крупнейшая в Азии	**Шеньжень, КНР** lightsearch.com
18–20.09	***Lux Europa 2017*** Международная конференция светотехнических обществ Европы	**Любляна, Словения** luxeuropa2017.eu
20–22.09	***OLEDs World Summit* 2017** Международная выставка по производству и применению органических светодиодов с конференцией	**Сан-Франциско, США** lightsearch.com
	***LED Lighting China* 2017** «Всесторонняя универсальная мировая торговая платформа» по изделиям со светодиодами с конференцией	**Шанхай, КНР** exponet.ru
	Российский промышленник 2017 21-й Международный форум «Российский промышленник»	**Санкт-Петербург, Россия** promexpo.expoforum.ru
20–28.09	***Int'l LED professional Symposium +Expo*** Международная выставка по светодиодной тематике с конференцией	**Брегенц, Австрия** ledinside.com
27–29.09	***World Energy Engineering Congress*** Международная конференция по энергетике	**Атланта, США** lightsearch.com
01–04.10	***SMART ENERGY EXPO* 2017** Международная выставка по энергетике, энергоэффективности и энергосбережению	**Верона, Италия** solbylab.ru

Дата	Название мероприятия	Место проведения
03–06.10	**Энергосбережение и энергоэффективность. Инновационные технологии и оборудование – 2017** 9-я Международная специализированная выставка	**Санкт-Петербург, Россия** www.totalexpo.ru
12–14.10	***IALD Enlighten Americas* 2017: *Light Eclectic*** Международная специализированная выставка по светодизайну с конференцией (под эгидой Международной ассоциации светодизайнеров)	**Денвер, США** lightsearch.com
17–19.10	***Horticultural Lighting* 2017** Международная конференция по растениеводческому освещению	**Денвер, США** horticulturelightingconference.com
24–26.10	***Lighting Kazakhstan* 2017** 7-я Казахстанская международная выставка «Освещение, светотехника и светодиодные технологии»	**Алматы, Казахстан** powerexpo.kz/ru
25–27.10	***China International Lighting & Intelligent Application Expo* 2017** Китайская международная выставка декоративного и технического освещения	**Пекин, КНР** expomap.ru
27–30.10	***Hong Kong International Lighting Fair*** Международная светотехническая выставка. Крупнейшая выставка такого рода в Азии и вторая по величине в мире	**Ваньчай, Гонконг/КНР** totalexpo.ru
31.10–02.11	***Hi-Tech Building* 2017** 17-я Международная выставка автоматизации зданий. Конференция «Интеллектуальное здание»	**Москва, Россия** hitechbuilding.ru
01–04.11	***PLDC - Professional Lighting Design Convention*** 6-я Международная конференция по профессиональному осветительному оборудованию и светодизайну с выставкой	**Париж, Франция** freshexpo.ru
05–07.11	***Greenbuild International Conference & Expo*** Международная выставка экологичного строительства с конференцией	**Бостон, США** greenbuildexpo.com
07–10.11	***Interlight Moscow powered by light+building* 2017** 23-я Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий	**Москва, Россия** www.interlight.messefrankfurt.ru

Семинар МКО, посвящённый стандарту S025/E:2015

Швейцария, Берн, 08–11 мая 2017

В 2015 г. МКО опубликовала стандарт S025/E:2015 «Методы испытаний СД ламп, светильников и модулей». Основная цель публикации – обеспечение единства условий и методов испытаний указанных световых приборов в части измерения электрических и фотометрических характеристик для адекватной оценки рынка светотехнической продукции на основе светодиодов в лабораториях разных стран.

С целью детального рассмотрения основных положений стандарта и их практического применения в мае этого года прошёл семинар на базе национального института метрологии Швейцарии – *METAS* (основного спонсора семинара) по инициативе директора Отделения 2 МКО Питера Блаттнера, руководителя лаборатории фотометрии и спектрорадиометрии *METAS*. В работе семинара приняли участие порядка 80 специалистов из 24 стран Европы, Азии, Африки и Америки. Из них 12 человек – в качестве основных лекторов и демонстрантов в лабораториях. Семинар прошёл с необычайно активным обменом мнениями и был насыщен дискуссиями.

Требования к испытательным лабораториям и их оценка общепринятым доверительным интервалом для определённых условий испытаний, связанных с измерениями температуры окружающей среды, температуры *p–n*-перехода в точке, заданной производителем осветительного прибора, и скорости движения воздуха, с положением прибора при отжиге и выходом в режим стабилизации фотометрических параметров. При этом необходимо понимать, что чем больше погрешность средств измерений (температуры, скорости движения воздуха), тем больше доверительный интервал и меньше интервал принятых значений этих параметров.

Отмечено, что измерения электрических параметров и оценка их соответствия спецификации производителя требуют скрупулёзного соблюдения инструкций стандарта в части подбора блоков питания и средств измерения тока и напряжения и их толерантного интервала.

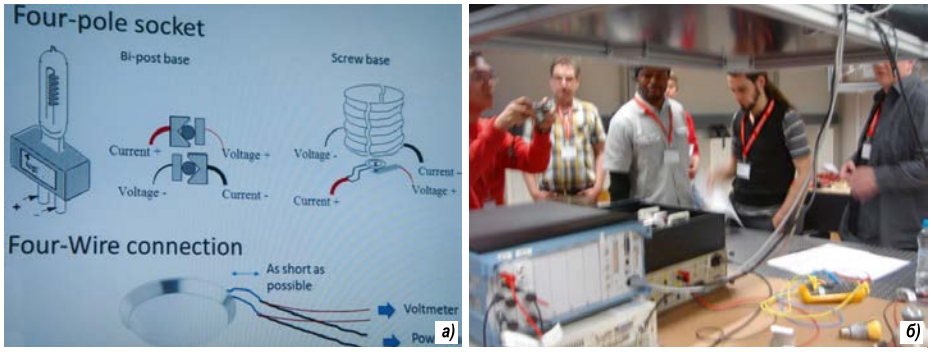


Рис. 1. Схемы питания с 4-полюсным цоколем (*а*) и лаборатория электротехнических измерений (*б*)

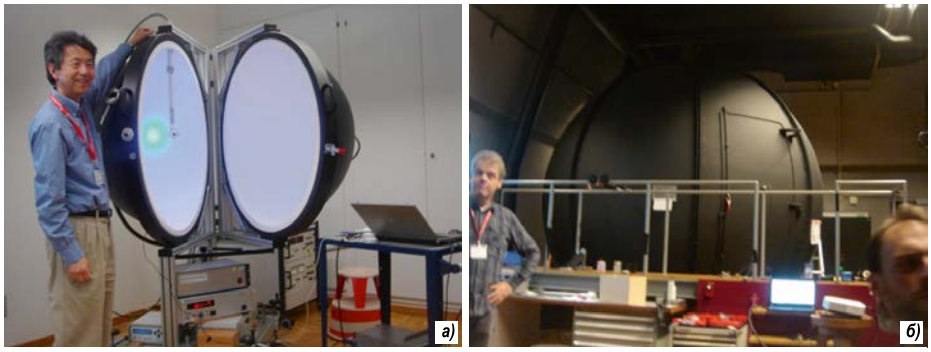


Рис. 2. Президент МКО Йоши Оно демонстрирует эффект люминесценции (*а*) и внешний вид 4-метровой сферы *METAS* (*б*)

Рекомендуемые экспертами приборы для измерения электрических параметров:

- анализаторы мощности *Voltech PM3000A-002* и *Yokogava WT1802E High Performance Power Analyzer*;
- блоки питания *Chroma 61501 Low Power Programmable AC Source* и *Chroma 61601 Low Power Programmable AC Source*;
- мультиметр *Fluke 87 True RMS Voltmeter*;
- многофункциональный прибор для измерений электрических параметров *Digitizer Card (NI PXI System)*.

При этом система питания должна базироваться на четырёх контактах для питания и измерения электрических параметров (рис. 1). Необходимы также оценки токов утечки на цоколе, изменения падения напряжения от длины кабеля питания и влияния индуктивности на падение напряжения на клеммах испытуемого осветительного прибора и на форму тока.

При измерениях светового потока зеркальным гониофотометром или сферическим интегратором с фотометрическими головками необходимо понимать, что требования стандарта к f_1 относятся к зеркалу плюс *V(λ)*-фотометр в случае гониофотометра и к сфере плюс *V(λ)*-фотометр при работе с фотометрической сферой. Необходимы методики, позволяющие решить эти задачи.

Самые большие методологические сложности связаны с применением спектрорадиометров на основе ПЗС-матриц. Как в гониометрических установках, так и в установках на базе сферы необходимы методики исключения и рассеянного света, и люминесценции покрытия сферы, которая зависит от состава покрытия и , порой, непосредственно связана с испытуемым источником света, его спектром излучения (рис. 2).

И это лишь небольшой перечень вызывающих дополнительные вопросы положений стандарта МКО S025. В России документ находится на стадии перевода, адаптации и введения в действие, очевидно, в следующем году. Работа выполняется в лаборатории фотометрии и спектрорадиометрии ФГУП «ВНИИОФИ». Первая редакция стандарта доступна на портале РОССТАНДАРТа.

Р.И. Столяревская, доктор техн. наук, член Отделения 2 МКО

УЛЬТРАСОВРЕМЕННАЯ КЛАССИКА
ДЛЯ СТИЛЬНЫХ УЛИЦ

ООО ЛИХОСЛАВЛЬСКИЙ ЗАВОД
«СВЕТОТЕХНИКА»

Антивандальный и без защитного стекла! GALAD Cordoba LED от 35 Вт до 117 лм/Вт

Как это возможно?

УМНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ
ДЛЯ ГОРОДА

ООО ЛИХОСЛАВЛЬСКИЙ ЗАВОД «СВЕТОТЕХНИКА»
171210, Тверская область, г. Лихославль, Первомайская улица, 51, тел: (48261) 3-59-04

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ

BL Group

Холдинг BL GROUP

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ПЛАТИНОВЫЕ

VS LIGHTING SOLUTIONS

enercom®
СОЗДАЕМ ЛИДЕРОВ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

PHAROS-ALEF

ГЛОБАЛ ЛАЙТИНГ

ЗОЛОТЫЕ

FAGERHULT

ГСТЗ г. Гагарин

СЕРЕБРЯНЫЕ

Светотехнический завод ВЛАДАСВЕТ

ВНИСИ

НИИ

БРОНЗОВЫЕ

TS TENZOSENSOR

СВЕТОВЫЕ СИСТЕМЫ

ЦФ

СОЛАР® МАГИЧЕСКИЙ СВЕТ

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-42849 от 01 декабря 2010 г., выданное Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Тираж 1200. Цена свободная.

interlight
MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного
и технического освещения, электротехники
и автоматизации зданий

7 - 10 ноября 2017

ЦВК «Экспоцентр»

Москва

www.interlight-moscow.ru

messe frankfurt

LIGHTING SOLUTIONS

Посетите нас !
Интерлайт 2017
Москва

7 –10 ноября 2017
Павильон ФОРУМ
Стенд F.B100

Новая продукция Vossloh-Schwabe для ваших проектов

- Широкие возможности применения
- Максимальная эффективность
- Компактный размер
- Простой и надежный монтаж

Компактные блоки питания серии ComfortLine

- Минимальная пульсация выходного тока
- Диапазон мощности: 17- 45 Вт
- Выходной ток: 300 -1050 мА
- Срок службы: до 100000 ч.
- Гарантия: 5 лет

Блоки питания с интерфейсом LEDSet

- Стандартный интерфейс LEDSet
- Выходная мощность: до 85 Вт
- Выходной ток: 100 - 800 мА
- Коэффициент мощности: > 0,96
- Срок службы: до 100000 ч.

Держатели для модулей LUGA Shop/C

- Надежная и простая установка
- Установочные винты закрыты
- Больше места для подключения проводов
- Проще замена СИД модуля
- Для СИД модулей с регулируемой цветовой температурой

www.vossloh-schwabe.com

A member of the Panasonic group Panasonic