

СВЕТО ТЕХНИКА 6·2019



Наши преимущества:

- Широкий ассортимент
- Сертифицированная продукция
- Изготовление кронштейнов по индивидуальному техническому заданию или эскизу

Качество
Надежность
Оперативность



Россия, г. Москва,
проспект Мира, 106



opora-e.com



(495) 785-37-40



СветоСервис
ВОЛГОГРАД

Умный свет — для умного города!
«Светосервис-Волгоград».



000 «Светосервис-Волгоград»
400107, г. Волгоград, ул. Карла
Либкнехта, 4



svetoservis.ru



+7 (8442) 36-63-32
+7 (8442) 36-63-31

На фото: Проспект имени Жукова

25 лет выставке Interlight Russia | Intelligent Building Russia

10-13 сентября 2019 года в Экспоцентре на Красной Пресне прошла юбилейная 25-я Международная выставка по освещению и автоматизации зданий Interlight Russia | Intelligent building Russia. Журнал «Светотехника» принимал активное и деятельное участие в организации этой крупнейшей в России и Восточной Европе профильной выставки по светотехнике. Этот номер «Светотехники» является для нас особенным, потому что значительная часть опубликованных в нём материалов, посвящена «Интерсвету»



Выставочные площадки *Interlight* в 2019 году объединили более 400 компаний-участников. О самых ярких и интересных экспонатах выставки читайте в традиционном ежегодном обзоре Леонида Петровича Варфоломеева

Обзор Юбилейной выставки *Interlight* → с. 74

11 сентября состоялся очередной Международный LED Форум, посвящённый актуальным вопросам светодиодного освещения



Подробнее → с. 85



12 сентября в рамках выставки состоялось заседание секции «Светотехническое образование и методология» отраслевого Научно-технического совета «Светотехника»

Подробнее → с. 90

Об истории развития выставки и её перспективах.

Интервью нашему журналу генерального директора Messe Франкфурт РУС Ойгена Аллеса



Интервью Ойгена Аллеса → с. 71



Встреча коллег. Чествование академика Ю.Б. Айзенберга

Подробнее → с. 88



В рамках выставки состоялась презентация долгожданного четвёртого издания Справочной книги по светотехнике, собравшей в себе всё самое важное в современной светотехнике

Презентация Справочной книги → с. 82

Уважаемые читатели!



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

За последний период я впервые принял участие в конференциях по светодизайну. У меня был значительный интерес к этим конференциям после дискуссии вокруг проблемы самоопределения профессии «светодизайнер», развернувшейся на страницах журнала «Светотехника». Хотелось непосредственно понять тематику научных исследований дизайнеров, их уровень и язык.

18 октября 2019 г. МГХПА им. С.Г. Строганова совместно с редакцией журнала «Светотехника / *Light & Engineering*», РАХ, Национальной академией дизайна и МАРХИ провела Международную научно-практическую конференцию, посвящённую междисциплинарным исследованиям проблем света в проектной и художественной культуре. 1–2 ноября в Санкт-Петербурге прошла регулярная Международная научно-практическая конференция «Световой дизайн – 2019» на базе НИУ ИТМО, занимающего 1 место в России и 151 место среди ведущих вузов мира в области «*Art & Design*».

Доклады дизайнеров радикально отличаются от принятого на научно-технических конференциях формата. На первый взгляд они воспринимаются как картинки с выставки, сопровождаемые рассказом в духе неструктурированного эссе. Мне представляется, что это следствие разных способов мышления и представления действительности. Если для инженера важна логика, физико-математическая модель обсуждаемого явления, то дизайнер стремится представить эмоции, ощущение от восприятия объекта. Эту разницу очень точно определил В.Г. Макаревич в статье в «Светотехнике» (№ 10 за 1974 г.) как «ощущение света» у дизайнера и «физика света» у инженеров.

Основу инженерного образования составляет практическая работа по разработке, эксплуатации и исследованию характеристик некоторых устройств. Это сопровождается лекциями, позволяющими понять основные законы взаимодействия различных звеньев этих устройств,

и семинарами по практическому решению задач по этим законам. Все вместе формируют физико-математическую модель устройства, позволяющую досконально понять его работу и предложить его совершенствование.

В дизайне его осмысление происходит через рисунок, как говорят сами дизайнеры, «на кончике карандаша». Лекции, столь существенные в инженерном образовании (понимание законов), здесь, по сути, классифицируют постигнутые карандашом «ощущения» в исторической перспективе, что определяет существующие стили дизайна. Поэтому уже в образовании закладывается существенная разница в восприятии окружающего мира, закладывающая проблему творческих взаимоотношений архитектора и светотехника.

На все основные типы объектов существуют узаконенные нормы освещённости или яркости поверхностей, что соответственно породило некоторые стандартные приемы освещения школ и больниц, офисных и производственных помещений, улиц и площадей. Поэтому в большинстве случаев в архитектурных мастерских нет светотехников, а есть электрики, проектирующие осветительные установки в соответствии с нормами и правилами на основе использования, как правило, типовых светильников. В фундаментальной монографии Н.М. Гусева и В.Г. Макаревича «Световая архитектура» отмечается, что даже на выставках свет обычно не проектируется: архитектор намечает расположение источников света, электрик фиксирует это на чертеже. При этом оба предполагают, что на «месте будет виднее», как осветить то или иное пространство или экспонат.

В дискуссии с В.Г. Макаревичем на страницах нашего журнала в 1975 году профессор кафедры светотехники МЭИ А.Б. Матвеев показывает, что такой разрыв можно преодолеть, если использовать в обучении модели освещения объектов. Построение таких моделей нетривиально, поскольку восприятие освещения объектов взглядом человека существенно зависит от геометрии и размеров объекта, от уровней освещённости, яркости и цветности его поверхностей. В своих научных исследованиях профессор А.Б. Матвеев смог построить законы светового моделирования, что создало возможности построения небольших лабораторных моделей объектов освещения.

Совершенно иные возможности открывает здесь использование компьютерной графики. Использование теории глобального освещения, физически адекватно описывающей распространение света и законов восприятия глазом светового цвета, позволяет воссоздать на мониторе компьютера реалистическое изображение освещаемого объекта. При сохранении понимания всех законов «физики света» программы компьютерной графики освобождают пользователя от сложных математических расчётов распределения света по объекту и одновременно предоставляют ему возможность наглядно видеть на дисплее результат освещения. Это позволяет светотехнику мыслить образами и, по сути, может явиться тем «карандашом», на кончике которого рождается «ощущение света». Более того, изображение освещаемого объекта на дисплее является тем языком, который доступен всем участникам проекта – дизайнеру, светотехнику и заказчику – создавая прочный фундамент их творческого взаимодействия.

На круглом столе «Дизайн: стратегии и тактики трансформации реальности» конференции «Световой дизайн – 2019» была попытка обсуждения вопроса о соотношении между дизайном и световым дизайном. Приглашённые в президиум архитекторы однозначно высказались, что особенности светового дизайна в средстве выражения: один использует краски, другой – свет. К сожалению, как обычно, из-за нехватки времени большей дискуссии не получилось, однако хочется отметить, что световой дизайн есть особая форма средства выражения. В монографии Н.М. Гусева и В.Г. Макаревича справедливо указывается, что «сетчатка глаза – вынесенная наружу часть мозга», что зрение и мышление связаны воедино, и биологическое воздействие света на человека всегда сопровождается психофизиологическим и эстетическим воздействиями. Свет в дизайне выступает и как средство выражения, и как средство отображения, поэтому изменение яркости и цветности адаптации может до неузнаваемости менять облик освещения.

Свет – это не просто архитектурное средство. По существу, это материал, который научились рассчитывать подобно тому, как рассчитывают конструкцию. Свет способен решать одновременно утилитарные и эстетические задачи.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1932 году профессорами М.А. Шателеном и Л.Д. Белькиндом и восстановлен после ВОВ профессором В.В. Мешковым

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
М.Л. Белов, д.т.н., проф., НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва
Т. Берген (*Tony Bergen*), Технический директор Photometric Solutions International, Австралия
Г. Бизяк (*Grega Biziak*), Люблянский университет, Словения
Л. Билунд (*Lars Bylund*), Bergen's School of architecture, Норвегия
П.Р. Бойс (*Peter R. Boyce*), Lighting Research Center, США
П. Блаттнер (*Peter Blattner*) Федеральный Институт Метрологии METAS, Швейцария
В. ван Боммель (*Wout van Bommel*), Philips Lighting, Нидерланды
А.А. Богданов, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург
Н.В. Быстриянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
Н. Василев (*Nicolay Vasilev*), Sofia Technical University, Болгария
Д. Вейтч (*Jennifer Veitch*), National Research Council of Canada, Канада
А.А. Григорьев, д.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С. Дарула (*Stanislav Darula*), Academy Institute of Construction and Architecture, Словакия
О.Е. Железникова, к.т.н., МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва

Т. Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт, Турция
А.А. Коробко к.т.н., БЛ Групп, Москва
С. Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур, Индия
Д.А. Мельников, Министерство Энергетики РФ, Москва
Э. Миллс (*Evan Mills*), Lawrence Berkeley Laboratory, США
Л.Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»
Й. Оно (*Yoshi Ohno*), NIST Fellow, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США
А.Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск
Л.Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Л.Р. Ронки (*Lucia R. Ronchi*), Higher School of Specialization for Optics, University of Florence, Италия
А.А. Рябцева, д.м.н., проф., МОНИКИ, Москва
А.К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва
К.А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург
П. Торнс (*Peter Thorns*), Zumtobel Group, Австрия
Г. Циссис (*Georges Zissis*), университет Тулузы, Франция
А.Г. Шахпарунянц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ru

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

Старший научный редактор
Е.И. Розовский; lampstech@mail.ru
 Научный редактор
С.Г. Ашурков; svetlo-nr@yandex.ru
 Научный редактор
А.Ю. Басов; basov@bl-g.ru
 Выпускающий редактор
П.А. Федорищев; fpa@l-e-journal.com
 Зав. редакцией
М.И. Титаренко; zav.red@list.ru
 Стилист английской версии
М.Д. Виноградова
 Секретарь редакции
Е.А. Булгакова; bulgakova@l-e-journal.com
 Дизайнер-верстальщик
А.М. Богданов
 Контент-менеджер
Е.С. Серый

ИНОСТРАННЫЕ КОРРЕСПОНДЕНТЫ

Аргентина
 Пабло Икстайна (*Pablo R. Ixtaina*), Национальный технологический университет Ла-Платы;
Франция
 Георг Циссис (*Georges Zissis*), университет Тулузы;
Индия
 Сасвати Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур;
Словения
 Грег Бизяк (*Grega Biziak*), Люблянский университет;
Турция
 – Тугче Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт;
 – Эрдал Шехирли (*Erdal Sehirli*), университет Кастамону;
 – Ренгин Юнвер (*Rengin Unver*), Технический университет Йылдыз (Стамбул)

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 15.11.19. Подписано в печать 06.12.19
 Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

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

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: info@l-e-journal.com; Интернет: www.l-e-journal.com; Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

СОДЕРЖАНИЕ 6·2019

В НОМЕРЕ

НОЯБРЬ • ДЕКАБРЬ

Бизнес и инновации	11, 18, 36, 44, 66	Варфоломеев Л.П. Юбилейная выставка «Интерсвет»	74
Колонка главного редактора	3	Серый Е.С. Всё самое главное о светотехнике	82
Белан Г.М., Овчаров А.Т. Модернизация осветительных систем литейно-прессового завода в Красноярске	6	Серый Е.С. <i>LED Forum</i> : теория и практика применения светодиодов	85
Леонидов А.В. Изменения естественной облучённости и освещённости на земной поверхности в 11- летнем цикле солнечной активности.....	14	Встреча коллег. Чествование академика Ю.Б. Айзенберга	88
Ловля Е.В., Попов О.А. Мощность потерь в индукторе бесферритных индукционных ртутных ламп НД с замкнутой разрядной трубкой.....	19	ХРОНИКА	
Цибук М., Сенгиз М.С. Сравнение энергопотребления имеющих разную топологию беспроводных сенсорных сетей осветительных установок.....	23	Серый Е.С. Конференция «Искусство света»	89
Стерхов А.И., Палагин А.В., Лошкарев И.Ю. Исследование систем освещения с полыми протяжёнными световодами	31	ДИСКУССИИ	
Шехирли Э. Сравнение устройств управления светодиодами на основе преобразователей постоянного тока <i>SEPIC</i> , Чука и обратноходовых.....	37	Будак В.П. Дискуссия о светотехническом образовании.....	90
Барцева А.А., Боос Г.В., Черняк А.Ш., Кузнецова А.Б., Розовский Е.И. Состояние музейного освещения в России	45	СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Гулиев А.Э. Усовершенствование освещения майолики на станции «Комсомольская-радиальная»	52	Международные конференции и выставки в 2020 году (I квартал)	57
Чевик А., Казанасмаз Т., Дюран Н.Е. Влияние освещения на выбор направления движения посетителей в музеях.....	58	КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ	
Яо Ц., Чэнь Л.И., Цзинь У. Неопределённость характеристик естественного освещения при ручном регулировании солнцезащитных устройств.....	4	Содержание журнала «Светотехника» за год	93
ОБМЕН ОПЫТОМ		ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Айзенберг Ю.Б. Международная деятельность в области светотехники профессора Айзенберга Ю.Б. (творческий отчет)	67	Умный свет для умного города. Светосервис-Волгоград	1
25 ЛЕТ ВЫСТАВКЕ INTERLIGHT		Светлые решения для умного города от МСК БЛ Групп	12
Interlight Russia Intelligent Building: выставка с историей в новом формате.....	71	Светосервис-Сочи — гарантия высокого качества жизни жителей города.....	87
		Экспонаты юбилейной выставки Interlight Russia Intelligent building Russia	1 с. обл.
		Oroga Engineering: Качество, надёжность, оперативность.....	2 с. обл.
		Управление освещением – залог безопасности	3 с. обл.
		Лихославльский завод «Светотехника»: российское производство с качеством мирового уровня	4 с. обл.

Модернизация осветительных систем литейно-прессового завода в Красноярске

Г.М. БЕЛАН¹, А.Т. ОВЧАРОВ²

¹ АО «Физтех-Энерго», ² ООО «Световые системы», Томск
E-mail: bgm@ft-e.com, oat_08@mail.ru

Аннотация

Сообщается о модернизации систем освещения ООО «Литейно-прессовый завод «Сегал» в Красноярске и технических решениях по её реализации. Приведены параметры новой системы освещения на базе светильников серии «Diora Craft», со светодиодами, и показано, что замена ими светильников с лампами «ДРЛ» позволяет экономить 73,5 % электроэнергии на освещение при высоком качестве создаваемой световой среды в цехах завода. Срок окупаемости инвестиций в эту модернизацию – 1 год.

Ключевые слова: промышленное освещение, системы освещения, осветительная установка, светильники со светодиодами, модернизация систем освещения, энергосбережение.

Введение

Многочисленными исследованиями установлено значительное влияние искусственного освещения на промышленных предприятиях на зрительную работоспособность, физическое и психическое состояния работников, и, как следствие, на производительность труда, качество продукции и производственный травматизм. Правильное освещение рабочих мест – ключевой фактор обеспечения безопасности и охраны здоровья работников [1].

Информационное поле о разработках и новациях в области промышленного освещения за последние 30 лет резко сократилось, публикации в научно-технических журналах практически отсутствуют, их заменили новостные веб-страницы. Требования к устройству и эксплуатации ОУ для разных производств изложены в федеральных нормативных документах [2–4], а отраслевые нормативные документы относятся ещё ко временам СССР (1970–1990 гг.). В постперестроечное время отраслевые нормативные документы практически не

разрабатывались, и потому устаревшие нормативы не отражают текущий уровень развития технических средств и технологий освещения.

На современном этапе развития искусственного освещения лидирующее положение в нём, в силу известных причин, заняло освещение светодиодами (СД). (Главная причина этого – требования энергосбережения в освещении [5] и международные соглашения по решению глобальных экологических проблем [6–8]).

С учётом указанных обстоятельств освещение промышленных предприятий, как наиболее энергоёмкое, должно в первую очередь переводиться на использование СД.

В настоящей статье приведены результаты модернизации осветительных систем Литейно-прессового завода (ЛПЗ) «Сегал» в Красноярске, предусматривавшей замену светильников с лампами «ДРЛ» светильниками с СД для повышения как качества световой среды в цехах, так и энергетической эффективности ОУ. Соответствующая программа модернизации систем освещения предусматривает три основных этапа: первый (2015 г.) – выполнение проекта модернизации; второй (2016–2017 гг.) – работы по реализации проекта модернизации (указанная замена светильников); третий, завершающий, (2018–2019 гг.) – покраска вертикальных поверхностей, потолка и металлоконструкций перекрытий в белый цвет (как опосредованный способ повышения качества световой среды). На всех этапах выполнения работ по модернизации проводились измерения характеристик ОУ, результаты которых приведены в табл. 1.

ЛПЗ «Сегал» (предприятие ГК «СИАЛ») производит алюминиевые литейные сплавы, экструдированные алюминиевые профили и изделия из них. Производственная мощность завода – 32000 т продукции в год, а объём производства – 26000 т в год.

Структура предприятия включает литейные, прессовые и окрасочные цехи, участок анодирования, производство навесных фасадов, опалубки и изделий из алюминиевых профилей, аналитическую лабораторию и участок упаковки.

Производство алюминиевых профилей осуществляется на автоматизированных прессовых комплексах на базе прессов с усилием 2750, 2500, 2100, 1460 и 1200 тс (1тс = 9,807 кН). Для покраски изделий из алюминиевых сплавов на предприятии используются вертикальные автоматические покрасочные линии «Trevisan» (Италия) и «TNE» (Сингапур) и горизонтальная автоматическая линия порошковой покраски «NEWLAC» (Испания).

Модернизация систем освещения цехов ЛПЗ

Специфика освещения промышленных объектов определяется сферой производственной деятельности, нормами освещения, разрядом и характеристикой зрительных работ, характером и особенностями технологического оборудования, условиями естественного освещения и требованиями к аттестации рабочих мест. Рабочие места предполагают их нормативное естественное освещение и адекватное требованиям безопасности и сохранения здоровья качественное искусственное освещение. Оптимальное решение ОУ компромиссно удовлетворяет требованиям комфортности освещения и высокой энергетической эффективности, критерием оценки которой могут быть нормативные значения максимально допустимой удельной установленной мощности (УУМ) системы общего искусственного освещения производственных помещений [2].

Выбор ОП для освещения промышленных предприятий производится с учётом светотехнических и экономических параметров ОП, в том числе светораспределения и световой отдачи. Оптимальный выбор ОП по светораспределению (с эффективными для заданной высоты подвеса КСС и схемой размещения ОП в помещении) позволяет снизить расход электроэнергии на освещение на 30–35 %. Для производственных помещений с большой высотой установки ОП (выше 6 м) эффективны светильники-глубоко-

Характеристики ОУ производственных участков ООО «Литейно-прессовый завод «Сегал» после модернизации

Участок	U_o , отн. ед.		$E_{г\text{ ср}}$, лк			K_p , %		$P_{уд\text{ макс}}$, Вт/м ²		UGR		R_a	
	норма	после*	норма	до**	после*	норма	после*	норма	после*	норма	после* (тах) расчётный	норма	после*
Опалубки		0,90		152	253								
Корпус № 4, пролёт № 5, автоматическая упаковочная линия окрашенного профиля, участок термической обработки	0,40	0,70	200	231	276	20	0,2	5	≤ 3	25	20	80	80
Корпус № 3Б, цех (с прессом с усилием 2750 тс)		0,80		204	269								
Корпус № 2, цех (с прессом с усилием 2500 тс)		0,60		212	348								

Примечания:

- «норма» – нормативные значения параметров согласно [2, 4];
- «после*» – характеристики ОУ после модернизации и двух лет эксплуатации (измерения 2018 г.);
- «до**» – характеристики ОУ до модернизации (измерения 2016 г.).

Обозначения:

- U_o – равномерность распределения освещённости: $U_o = E_{\min} / E_{\text{ср}}$;
- $E_{г\text{ ср}}$ – средняя горизонтальная освещённость на рабочей поверхности в цехах;
- K_p – коэффициент пульсации освещённости;
- $P_{уд\text{ макс}}$ – максимально допустимое значение удельной установленной мощности;
- UGR – объединённый показатель дискомфорта;
- R_a – общий индекс цветопередачи.

излучатели с СД при их равномерном размещении по площади производственного участка. Целесообразность использования ОП с концентрированным светораспределением растёт с увеличением высоты потолков.

В цехах литейных заводов в основном применяют системы общего освещения. Нормы и качественные показатели освещения производственных

участков литейных заводов с разрядом зрительных работ Vб известны [2, 4]. Поскольку производственные участки литейных цехов располагаются, как правило, в зданиях с высокими потолками (выше 8 м), ОУ общего освещения комплектуются ОП большой единичной мощности. Традиционно по состоянию воздушной среды помещения литейных цехов

относят к категории «пыльные», что обуславливает рекомендации применять частично или полностью пылезащищённые ОП (со степенью защиты не менее IP53). Но уместно отметить, что современные механизированные и автоматизированные технологии способствуют повышению культуры производства и улучшению санитарно-гигиенического состояния цехов, что, по сути, традиционную оценку воздушной среды современных промышленных производств как «пыльные» делает лишней. Такое положение полностью относится и к цехам ЛПЗ с высокой степенью автоматизации, потолки и стены которых на завершающем этапе модернизации освещения покрашены белой краской. Производственные помещения ЛПЗ «Сегал» по содержанию пыли, дыма, копоти в воздушной среде относятся к категории 1в [2, табл. 4.3]. Покраска вертикальных поверхностей, потолка и металлоконструкций перекрытий в белый цвет, по расчётам, повышает

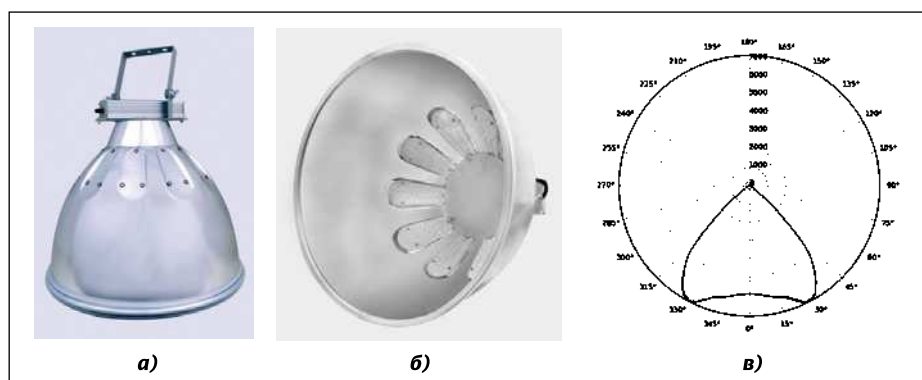


Рис. 1. Светильник типа Diara Craft 110/13000 (мощность 110 Вт, световой поток 13000 лм, $T_{кц} = 5000\text{ K}$, IP 65): а и б – общий вид светильника; в – КСС



Рис. 2. Освещение цехов ЛПЗ после модернизации ОУ:
 а и б – корпус № 4, пролёт № 5, автоматическая упаковочная линия окрашенного профиля; в – корпус № 2, цех (с прессом с усилием 2500 тс)

среднюю освещённость на 25–30 %, что определило покраску ограждающих поверхностей в помещениях цехов содержанием завершающего этапа модернизации ОУ цехов завода. Наглядной демонстрацией эффективности влияния окрашенных в светлые тона ограждающих поверхностей является повышение освещённости на 30 % в цехе с прессом с усилием 2500 тс (корпус № 2), с 267 до 348 лк, после

покраски белой краской стен и потолка (табл. 1). Приведённый факт подтверждает эффективность комплексного подхода, при котором высокое качество световой среды формируется не только правильно подобранными ОП, но и состоянием окружающего пространства.

Модернизацию ОУ цехов ЛПЗ «Сегал» следует отнести к примерам прогрессивного подхода к модернизации

освещения промышленного предприятия, в проекте которой комплексно решались вопросы повышения энергетической эффективности, непрерывности световой среды в разных режимах действия технологического оборудования (в частности, затевающего действия цеховых козловых кранов), оптимизации условий эксплуатации осветительного оборудования, удобства монтажа и обслуживания ОП, комфортности световой среды. Модернизация коснулась общего освещения цехов в системе комбинированного. Практически все линии производства автоматизированы, локальные рабочие места определены расположением оборудования и чаще всего расположены в начале пролёта. Это, как правило, рабочие места операторов, управляющих производственным процессом, выполненные в виде прозрачного блока из защитного прозрачного стекла.

Местное освещение на рабочих местах является частью технологического оборудования и выполнено на ЛЛ с колбой «Т5», что предусмотрено производителем этого оборудования. Освещённость на рабочих местах в системе комбинированного освещения в среднем – 500 лк при уровне общего освещения более 200 лк [2]. Остальная часть цеха представлена автоматизированными линиями, предусматривающими общее наблюдение за ходом производственного процесса. Далее речь пойдёт о результатах модернизации системы общего внутреннего освещения ЛПЗ «Сегал».

В проекте модернизации использованы промышленные светильники «Diora Craft». Общий вид одного из них приведён на рис. 1, а и б. Светораспределение этих светильников-глубокоизлучателей соответствует КСС типа «Г» (рис. 1, в). Световая отдача (не менее 120 лм/Вт), адресное использование светового потока (глубокая КСС при большой высоте подвеса) и рациональное размещение светильников в помещении обеспечили высокую энергетическую эффективность ОУ, при которой максимальное значение УУМ ОУ цехов и участков завода не превышает 3 Вт/м² при средней освещённости более 200 лк (среднее значение УУМ – 1,25 Вт/м² на 100 лк). Мощность светильников с СД, подобранная расчётно, обеспечивает нормативную освещённость (табл. 1). Разряд зрительных работ в модернизи-

Сводка результатов расчёта средней освещённости E_{cp} производственного корпуса № 4
(копия распечатки)

№	Обозначение	Тип	Растр	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min}/E_{cp}	E_{min}/E_{max}
1	Пролет 1,2	по горизонтали	128×32	201	128	217	0,640	0,592
2	Пролет 3,4	по горизонтали	128×32	202	131	216	0,651	0,609
3	Пролет 5	по горизонтали	128×32	250	154	275	0,615	0,558
4	Пролет 6	по горизонтали	128×32	254	157	282	0,615	0,556

руемых цехах – V6, по ТЗ заказчика, а нормируемое значение освещённости – 200 лк [2]. Все локальные рабочие места с более высоким разрядом зрительных работ снабжены местным освещением.

Для минимизации капитальных затрат на модернизацию ОУ завода по ТЗ заказчика принята схема, при которой светильники «Diora Craft» (аналоги светильников РСП-400, ГСП-250, ЖСП-250) устанавливаются в места существующих световых точек взамен устаревших светильников с лампами ДРЛ 400 (РСП-400). ОУ в каждом цехе имеет две составляющие: стационарную, со светильниками на фермах перекрытия здания (рис. 2, а), и мобильную, со светильниками на козловом кране (рис. 2, б). В цехах в ходе производственного процесса действуют козловые краны, передвижение которых может оказывать затеняющее действие на стационарно установленные светильники, нарушать стабильность световой среды и создавать дискомфорт для работающих. Для устранения этого нежелательного эффекта на поперечной балке подвижного крана установлены светильники, выполняющие роль стационарных в моменты затеняющего действия крана. Подкрановое освещение выше общего на 15 %, что акцентирует наблюдение за работой крана и повышает безопасность производства работ. Таким образом в цехе поддерживается комфортная стабильность освещения рабочих мест при работе подвижных кранов.

Прогрессивное проектное и техническое решение ОУ поддержано смелым дизайном светильников, в которых корпус-колокол из анодированного алюминия одновременно служит отражателем (интегральный коэффи-

циент отражения 85 %) и радиатором. Защитное стекло-рассеиватель выполнено из оптического поликарбоната и крепится к корпусу светильника с помощью эластичного силиконового обода в роли уплотнителя. Интегральный коэффициент пропускания материала рассеивателя – 0,91.

Несмотря на малую толщину металла оригинальное размещение СД модулей на внутренней поверхности корпуса (рис. 1) обеспечивает оптимальный тепловой режим для СД (температура СД модуля – не выше 80 °С) во всём диапазоне мощностей в типоряде светильников «Diora Craft», от 55 до 150 Вт, при температурах эксплуатации от –60 до +60 °С. Работа корпуса как радиатора исключает потребность в дополнительном, как правило, массивном литом радиаторе. Поэтому вес светильника не более 3,2 кг, что значительно меньше, чем у отечественных аналогов, и даёт существенные преимущества в выполнении высотных монтажных работ и обслуживании ОУ. Гладкий

корпус-колокол светильников, изготовленный по технологии холодного накатывания на пресс-форму, избавляет его от рёбер и углов (рис. 1, а) на внешней поверхности, что практически исключает накопление пыли и прочих загрязнений на этой поверхности и обеспечивает тем самым стабильность теплового режима СД, повышение надёжности и долговечности светильников и облегчение их чистки. Размещение СД модулей в верхней части отражателя придаёт дополнительные полезные свойства светильникам: большой защитный угол, исключающий слепящий эффект при высоте их установки 6–15 м. Светильники имеют высокую степень защиты от воздействия окружающей среды (IP65), допускают эксплуатацию в помещениях с разными условиями воздушной среды, относятся к 4-й эксплуатационной группе [2], удовлетворяют требованиям документа [9], и их $T_{кц} = 5000$ К.

СД модули имеют вид лепестков, размещены в купольной части корпуса (рис. 1, б) и содержат СД серии

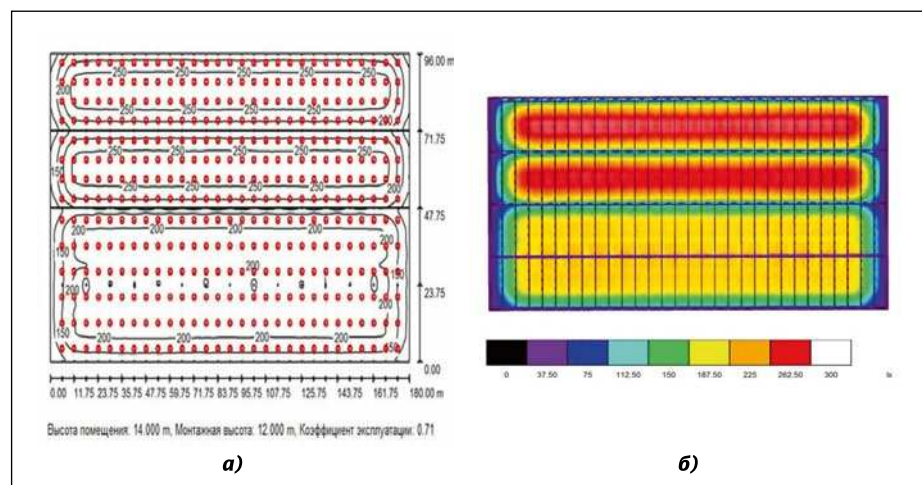


Рис. 3. Расчётные фрагменты проекта освещения производственных участков корпуса № 4. Проектное распределение освещённости в изолюксах (а) и в фиктивных цветах (б)

«LM561C» производства *Samsung* единичной максимальной мощности 0,6 Вт. Количество СД на плате модуля зависит от мощности светильника: 250 шт. при 110 Вт и 420 шт. при 130 Вт. СД в светильниках эксплуатируются при пониженной мощности, что, как известно [10], повышает их световую отдачу. При этом в светильнике типа *Diora Craft 130* (130 Вт) единичная мощность СД составляет 0,285 Вт (47 % от максимальной), а в светильнике *Diora Craft 110* (110 Вт) – 0,405 Вт (67 % от максимальной).

Соответственно, запас по мощности в 50 и 30 % обеспечил световую отдачу светильников не менее 120 лм/Вт, повысил их надёжность и долговечность (благодаря облегчению теплового режима по сравнению с режимом максимальной мощности СД) и позволил реализовать конструкцию светильников с использованием тонкостенного металла корпуса в качестве радиатора охлаждения СД модуля.

Очевидно, уменьшение единичной мощности СД в СД модулях увеличивает их количество для получения номинального значения светового потока, что, в принципе, удорожает светильники. Компромисс в выборе единичной рабочей мощности и количества СД определялся оптимальным соотношением «цена/качество». Идеология конструирования светильника позволила при конкурентной цене на него получить высокие потребительские характеристики и заявить гарантийный срок в 5 лет. В светильниках *Diora Craft 110* и *Diora Craft 130* использован источник тока *PS130–700* с минимальным значением КПД 92 % при рабочем токе 700 мА и максимальной мощности 130 Вт.

На первом начальном этапе модернизации ОУ завода, в 2016 г., (первые закупки прошли в 2015 г.) были установлены 632 светильника *Diora Craft 110/13000* и 33 светильника *Diora Craft 130/17000*. В результате даже при достигнутом улучшении светотехнических параметров (табл. 1) мощность ОУ оказалась сниженной на 73,5 %, с 279,3 кВт (до модернизации) до 73,8 кВт (после модернизации). Годовая экономия средств на оплату электроэнергии на освещение при тарифе 4 руб./кВт·ч составила 7,2 млн руб. Окупаемость инвестиций (при цене поставки оборудования 6,82 млн руб.) в модернизацию ОУ за-

вода, за счёт значительной экономии электроэнергии на освещение, обеспечивается за год эксплуатации.

Программой комплексной модернизации освещения ЛПЗ «Сегал» предусматривается поэтапная установка светильников с СД во всех цехах, а на завершающей стадии модернизации – покраска стен, потолка и несущих металлоконструкций перекрытий в белый цвет.

Для всех цехов первой очереди модернизации выполнены светотехнические расчёты и моделирование в программе «*DIALux 4.13*». В качестве примера на рис. 3 приведены результаты расчётов для производственных участков корпуса № 4. Габаритные параметры корпуса: площадь – 17288 (180 × 96) м²; высота установки светильников – 12 м; высота потолка – 14 м; расстояние между рядами светильников – 6 м; расстояние между светильниками в ряду – 6–8 м, в зависимости от конструкции перекрытий в разных пролётах. Для светильников «*Diora Craft*», отнесённых к 4-й эксплуатационной группе, коэффициент эксплуатации принят равным 0,71 [2, табл. 4.3 с учётом примечания 4]. Принятые в расчётах значения коэффициентов отражения потолков, стен и полов – 0,70 (побелка), 0,50 (серая штукатурка) и 0,20 (бетон). В табл. 2 приведены расчётные освещённости с учётом выбранного коэффициента эксплуатации светильников.

В табл. 1 обобщены результаты реализации проектных решений по производственным участкам первой очереди (2016 г.) модернизации ОУ завода и приведены результаты измерений освещённости после двух лет их (ОУ) эксплуатации (2018 г.). Фактические уровни освещённости выше расчётных, что свидетельствует о корректности выбора значений коэффициента эксплуатации светильников и коэффициентов отражения стен, потолков и полов. Накануне отправки рукописи статьи в журнал в порядке мониторинга ОУ на участке термической обработки в корпусе № 4 были проведены дополнительные измерения, которые выявили снижение освещённости за третий год эксплуатации (июль 2018 г. – август 2019 г.) в пределах 3 %. (Режим работы предприятия – непрерывный.)

На рис. 2 показаны общий вид производственных участков в корпусах № 2, 3Б, 4 и характер размещения све-

тильников после модернизации ОУ ЛПЗ «Сегал». Характерная особенность ОУ – равномерное размещение светильников по цеху линиями, идущими вдоль помещения рядами параллельно стенам. Освещаемое пространство цеха насыщено светом и является собой комфортную световую среду (табл. 1) для производства профильных работ.

В настоящее время ЛПЗ «Сегал» продолжает модернизацию освещения путём поэтапной замены светильников с лампами «ДРЛ» светильниками с СД (серии «*Diora Craft*») и покраски вертикальных поверхностей, потолка и металлоконструкций перекрытий в белый цвет.

Заключение

Внедрение светильников с СД в установки общего промышленного освещения имеет большой потенциал роста энергосбережения и качества световой среды на предприятиях. Пример комплексной модернизации освещения ЛПЗ в Красноярске демонстрирует такие возможности: мощность ОУ снизилась на 73,5 %, с 279,3 кВт (до модернизации) до 73,8 кВт (после модернизации) при высоком качестве световой среды (табл. 1). При годовом сокращении расходов на оплату электроэнергии на освещение в 7,2 млн руб. окупаемость инвестиций в модернизацию ОУ завода, за счёт значительной экономии электроэнергии на освещение, обеспечивается за год эксплуатации.

Авторы выражают благодарность Ю.Б. Айзенбергу за ценные замечания и рекомендации при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
2. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*».
3. СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
4. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».

5. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N261-ФЗ.

6. Киотский протокол – международное соглашение, дополнительное документ к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992), принятое в Киото (Япония) в декабре 1997 г. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.html (дата обращения: 21.08.2019).

7. Парижское соглашение по климату. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (дата обращения: 21.08.2019).

8. Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2014 N1242-р «О подписании Минаматской конвенции по ртути».

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 10.11.2017 N1356 «Требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».

10. *Никифоров С.* Исследование параметров семейства светодиодов *Cree XLAMP* // Компоненты и технологии.– 2006.– № 11(64). – С. 42–49.



Белан Галина Михайловна, магистр техники и технологии по направлению «Оптика» Окончила в 2012 г. кафедру «Лазерная и световая техника» Томского политехнического университета. Руководитель отдела проектирования систем освещения АО «Физтех-Энерго»



Овчаров Александр Тимофеевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1966 г. Томский институт радиоэлектроники и электронной техники. Профессор кафедры «Архитектурное проектирование» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Директор ООО «Световые системы». Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering». Область научных интересов: проектирование и разработка систем освещения высокой энергоэффективности

турное проектирование» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Директор ООО «Световые системы». Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering». Область научных интересов: проектирование и разработка систем освещения высокой энергоэффективности

Вертикальные фермы продолжают завоевывать США

По мере роста городского населения во всём мире, сопровождаемого возрастанием потребности городов в продуктах питания, всё большее значение приобретают передовые методы выращивания растений. Вертикальные фермы, в которых для выращивания растений используются освещение светодиодами и контролируемая среда, обеспечили решение проблемы производства свежих продуктов питания в районах с высокой плотностью населения, требуя при этом меньше воды и занимаемого пространства.

Американские агротехнические компании всё шире распространяют вертикальные фермы по территории США. Так, калифорнийская компания *Plenty*, работающая в области вертикальных ферм, объявила, что в этом году она построит в Лос-Анджелесе новую ферму, которая начнёт выпускать свежие продукты питания к концу 2020 г. Вертикальная ферма компании *Plenty* нуждается только в 1 % земли и 5 % воды от того, что требуется при обычном фермерстве на открытом воздухе.

Компания *Fifth Season*, занимающаяся выращиванием растений в условиях защищённого грунта, также объявила о намере-



нии открыть в начале 2020 г. свою первую коммерческую вертикальную ферму, расположенную в окрестностях Питсбурга, США.

Остин Узбб, гендиректор и один из основателей компании *Fifth Season*, сказал: «Мы разработали комплексную запатентованную технологию, дающую возможность полного контроля за процессом гидропонного выращивания растений и оптимизацию ключевых моментов, таких как энерго- и трудозатраты и урожайность растений. В результате была спроектирована вертикальная ферма с вдвое большими по сравнению с традиционными вертикальными фермами энергоэффективностью и продуктивностью. Наши беспрецедентно низкие затраты установили новую точку отсчёта для будущего развития этого вида производства». Компания планирует распространить свой бизнес и на другие столь же крупные американские города.

ledinside.com
28.10.2019

Дополнение от редакции

Публикуя настоящую статью Г.М. Белан и А.Т. Овчарова, нельзя не отметить, что в ней впервые более чем за десятилетний период рассматриваются результаты модернизации освещения промышленного предприятия.

Наряду с этим публикация данной статьи ставит важнейший вопрос по дальнейшему проектированию ОУ не только производственных зданий, но и общественных сооружений – добиваться ли максимального снижения удельной установленной мощности (УУМ) при минимальных значениях нормируемой освещённости, как «главной задачи проектирования», используя большую разницу в световой отдаче новых и старых ОП, или добиваться комфортных условий световой среды при обязательном (но далеко не максимальном) снижении УУМ в 3–4 раза. При этом необходимо в процессе проектирования повышать значе-

ния освещённости (сверх сегодня нормируемых гигиенических значений) и комфортность спектрального состава световой среды. СД при этом следует подбирать с нужной в каждом частном случае коррелированной цветовой температурой, одновременно достигая снижения эксплуатационных расходов и повышения надёжности работы ОУ за счёт правильного выбора коэффициентов эксплуатации ОП. Новые подходы к формированию световой среды, безусловно, потребуют и совершенствования гигиенического нормирования освещения.

Считая поставленный выше вопрос крайне важным, редакция приглашает всех специалистов обсудить эту проблему, с участием авторов статьи и её рецензентов, а также специалистов Роскомнадзора, гигиенических организаций и органов стандартизации.

Ю.Б. Айзенберг

BL
Group



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



Россия, г. Москва, проспект Мира, 106
bl-g.ru
+7 (495) 785-20-95

СВЕТЛЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УМНОГО ГОРОДА



Интеграция решений для наружного
и внутреннего освещения в
информационно-коммуникационные системы,
цифровые платформы и сервисы

Изменения облучённости и освещённости на земной поверхности в 11-летнем цикле солнечной активности

А.В. ЛЕОНИДОВ

E-mail: avleonidoff@mail.ru

Аннотация

Приведены аналитическое выражение, аппроксимирующее последовательность 11-летних циклов солнечной активности в григорианском летоисчислении, и выражение для солнечной активности в пределах одного цикла. Получены зависимости эффективной термодинамической температуры фотосферы Солнца, а также солнечной и световой солнечной постоянных на верхней границе земной атмосферы от номера года в пределах одного цикла активности Солнца. Приведено обобщённое аналитическое выражение для интегральных коэффициентов пропускания атмосферы (в пределах её спектрального окна прозрачности) на земной поверхности для прямой, рассеянной составляющих солнечного излучения и их суммы при разной угловой высоте Солнца. Получены аналитические выражения зависимостей облучённости и освещённости на земной поверхности в спектральном окне прозрачности атмосферы и в видимой области спектра излучения Солнца от номера года в пределах произвольного цикла активности при разной угловой высоте Солнца. В качестве примера приведены результаты расчёта прямой и рассеянной составляющих облучённости и освещённости на земной поверхности и их сумм в случае безоблачного неба. Предложенный подход позволяет проводить аналогичные вычисления при разных видах облачного покрова.

Ключевые слова: 11-летний цикл активности Солнца, солнечная и световая солнечные постоянные, угловая высота Солнца, циклические изменения, прямая и рассеянная составляющие облучённости и освещённости, земная поверхность.

11-летняя циклическая активность Солнца оказывает существенное влияние на энергетические и светотехнические характеристики солнечного излучения (СИ) на земной поверхности, и во многом определяет характеристики жизнедеятельности человека во всех её аспектах.

Изменения СИ в видимой области спектра, лежащей в спектральном окне прозрачности земной атмосферы (СОПЗА), оказывают влияние на суточную активность нейроэндокринной системы организма человека, определяя характер циркадианной активности всех биологических систем организма. Изменения циркадианной активности организма приводят к изменению суточной интеллектуальной активности человека, включающей, в частности, организацию процесса зрительного восприятия и построение на этой основе смысловой модели предметного мира, а также организацию конкретной и абстрактной мыслительной деятельности.

До настоящего времени 11-летние циклические изменения облучённости и освещённости на земной поверхности, достигающие 30 % и оказывающие существенное

влияние на процессы зрительного восприятия, в светотехнической практике во внимание не принимались.

Цель данной работы – получение аналитических выражений, описывающих 11-летние циклические изменения ряда энергетических (радиометрических) и светотехнических (фотометрических) характеристик в разных спектральных участках СИ при разной угловой высоте Солнца¹.

Мера солнечной активности – индекс этой активности, характеризуемый числом Вольфа $W = k(10g + s)$, где s – количество отдельных пятен на наблюдаемой поверхности фотосферы Солнца, g – число групп, в которые эти пятна объединяются, k – коэффициент, принимаемый, как правило, за единицу [2, 3].

W и его зависимость от времени характеризуют основной и наиболее ярко проявляющий себя солнечный цикл с 11-летним периодом – цикл Швабе (рис. 1). Значительно менее выраженные циклы (в частности, 22-летний – цикл Хейла) во внимание приниматься не будут.

В периоды минимальной активности Солнца $W (= W_{\min})$ практически постоянно и равно 0–15. Напротив, максимальная активность Солнца характеризуется вариабельностью $W (= W_{\max})$, составляющего 120–250. Для дальнейшего изложения были выбраны усреднённые за период 1940–2019 годов значения $W_{\min} (\approx 10)$ и $W_{\max} (\approx 180)$. Кроме того, времена фронта и среза солнечной активности были приняты равными друг другу, что не вносит заметной ошибки в получаемые результаты и позволяет аппроксимировать зависимость W от номера года N (с учётом принятых допущений) синусоидальной функцией:

$$W(N) = W_{\text{средн}} \left\{ 1 + 0,895 \cdot \sin \left[\frac{2\pi(N - 1755)}{11} - \frac{\pi}{2} \right] \right\}, \quad (1)$$

где $W_{\text{средн}} = 0,5(W_{\min} + W_{\max})$, 1755 означает год, соответствующий минимальной солнечной активности (начало нулевого цикла) и находящийся вблизи года начала регулярного изучения циклических изменений солнечной активности (~1749 год).

Зависимость W от номера года n в пределах произвольного 11-летнего цикла солнечной активности имеет вид:

¹ Предполагалось, что полученные результаты смогут:

– использоваться в исследованиях и прогнозировании осознаваемых и неосознаваемых реакций организма человека на циклические изменения характеристик СИ, в том числе связанных с работой зрительной системы человека;

– в перспективе начать учитываться в работах по стандартизации в области естественного внутреннего освещения не только для комфортности проведения зрительных работ, но и для предотвращения (или) купирования отклонений в работе циркадианной системы организма человека. (Актуальность такого рода работ и необходимость их проведения продемонстрирована в недавнем обзоре [1].)

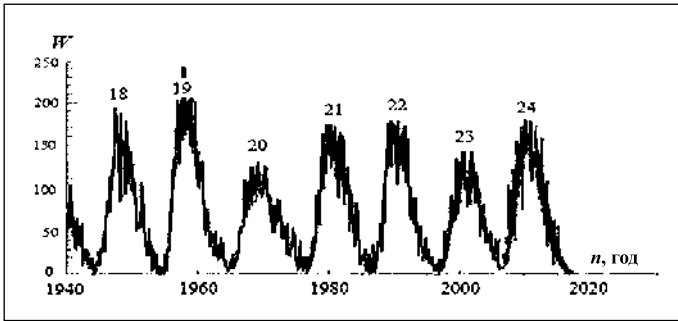


Рис. 1. Зависимость числа Вольфа W от времени в григорианском летоисчислении. Числами 18–24 обозначены циклы активности Солнца в период 1940–2019 годов [3–5]

$$W(n) = W_{\text{средн}} \left[1 + 0,895 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right]. \quad (2)$$

График зависимости $W(n)$ по выражению (2) приведён на рис. 2.

Циклические изменения W приводят к циклическому изменению энергетической светимости фотосферы Солнца $M_{eS} [T_{\text{эфф}}(n)]$, где $T_{\text{эфф}}$ – равновесная эффективная термодинамическая температура излучения фотосферы Солнца. Используемая в подавляющем большинстве случаев в качестве модели излучения фотосферы Солнца модель излучения чёрного тела Планка [6, 7] со спектральной плотностью энергетической светимости $m_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}})$ выражается как

$$m_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}}) = C_1 \lambda^{-5} \left(\exp \frac{C_2}{\lambda T_{\text{эфф}}} - 1 \right)^{-1}, \quad (3)$$

где $C_1 \approx 3,742 \cdot 10^{-16}$ Вт·м² и $C_2 \approx 1,439 \cdot 10^{-2}$ м·К.

При этом:

– наличие хорошо известных из физики Солнца спектральных линий поглощения атомов химических элементов в спектре излучения фотосферы Солнца (линии Фраунгофера) [8] и в атмосфере Земли имеют значение лишь в спектроскопии, но не оказывают сколько-нибудь заметного влияния на результаты, получаемые при светотехнических расчётах;

– очевидно, что в (3) $T_{\text{эфф}}$ – функция n . Тем не менее, согласно рекомендациям Международной комиссии по радиации [9], в (3) и в интеграле от $m_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}})$ по λ в виде $M_{eS}(T_{\text{эфф}})$ существование зависимости $T_{\text{эфф}}(n)$ не учитывается, и значение $T_{\text{эфф}}$ принимается равным некоторой постоянной, что не позволяет определять зависимости энергетических и светотехнических характеристик СИ на ЗП от n .

В качестве основы при определении этих зависимостей использовано значение солнечной постоянной $E_{e, \text{СП}}(T_{\text{эфф}})$ в форме

$$E_{e, \text{СП}}(T_{\text{эфф}}) = \int_0^{\infty} e_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}}) d\lambda = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \int_0^{\infty} m_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}}) d\lambda, \quad (4)$$

представляющей собой энергетическую освещённость (облучённость) площадки, расположенной на верхней границе земной атмосферы, при нормальном падении СИ. Здесь

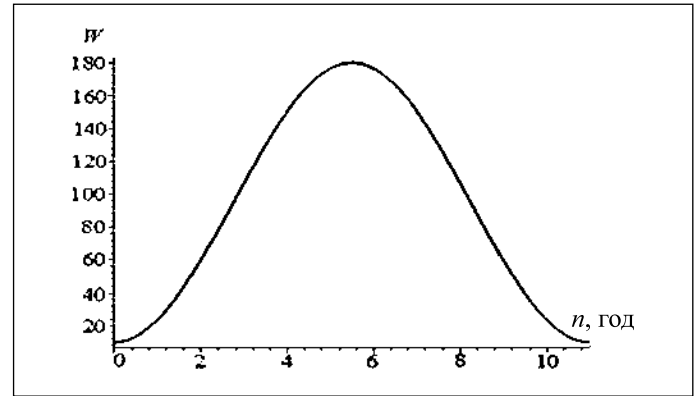


Рис. 2. Изменение числа Вольфа W в произвольном 11-летнем цикле солнечной активности

$e_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}})$ – спектральная плотность облучённости на границе земной атмосферы, $r = 6,96 \cdot 10^5$ км – экваториальный радиус Солнца, $R = 1,496 \cdot 10^{12}$ км – радиус круговой орбиты Земли [7].

По данным спутниковых актинометрических измерений, относящихся к максимальным значениям циклов солнечной активности 20 и 21, наиболее вероятное значение $E_{e, \text{СП}}(T_{\text{эфф}})$ составляет при отсутствии регулярности изменения во времени $1368\text{--}1377$ Вт·м², что и позволяет использовать термин «солнечная постоянная». В качестве стандартного значения этой величины принято значение по Международной пиргелиометрической шкале 1956 года (при максимуме солнечной активности): $E_{v, \text{СП, макс}}(T_{\text{эфф}}) \approx 1370$ Вт·м² [7, 9]. Этому значению, согласно (3) и (4), соответствует значение $T_{\text{эфф, макс}} = 5780$ К.

Световая солнечная постоянная $E_{e, \text{СП}}$ может быть выражена, согласно (4), как

$$E_{v, \text{СП}}(T_{\text{эфф}}) = 683 \int_{350}^{770} e_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}}) V(\lambda) d\lambda = \left(\frac{r}{R}\right)^2 683 \int_{350}^{770} m_{eS}(\lambda, T_{\text{эфф}}) V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

и представляет собой освещённость площадки, расположенной на верхней границе земной атмосферы, при нормальном падении СИ. В условиях минимума солнечной активности $E_{v, \text{СП}} = E_{v, \text{СП, мин}} = 135110$ лк [10, 11], чему соответствуют значения $E_{e, \text{СП, мин}} 1106$ Вт·м² и $T_{\text{эфф, мин}} 5480$ К. Ранее определённому значению $E_{e, \text{СП, макс}} \approx 1370$ Вт·м² при $T_{\text{эфф, макс}} = 5780$ К, согласно (3) и (4), отвечает значение $E_{v, \text{СП, макс}} = 173600$ лк.

Зависимость $T_{\text{эфф}}(n)$ при известных $T_{\text{эфф, мин}}$ и $T_{\text{эфф, макс}}$ в пределах произвольного 11-летнего цикла солнечной активности выражается как

$$T_{\text{эфф}}(n) = T_{\text{эфф, средн}} \left[1 + 0,027 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (6)$$

где $T_{\text{эфф, средн}} = 0,5(T_{\text{эфф, мин}} + T_{\text{эфф, макс}})$. График этой зависимости показан на рис. 3, а $E_{e, \text{СП, мин}}$ и $E_{e, \text{СП, макс}}$ в разных спектральных диапазонах приведены в табл. 1.

Зависимости $E_{e, \text{СП}}(n)$, согласно (4), при вычисленных значениях $E_{e, \text{СП, мин}}$ и $E_{e, \text{СП, макс}}$ для спектральных диапазо-

Значения солнечной постоянной в разных спектральных диапазонах и световой солнечной постоянной при минимуме и максимуме солнечной активности

Характер солнечной активности	$E_{e,СП}, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$			$E_{v,СП}, \text{лк}$
	при $0 \leq \lambda \leq \infty \text{ нм}$	при $300 \leq \lambda \leq 1200 \text{ нм}$	при $350 \leq \lambda \leq 770 \text{ нм}$	при $350 \leq \lambda \leq 770 \text{ нм}$
Минимум	1106,3	838,7	514,0	135110
Максимум	1369,2	1057,4	665,8	173600
Средняя	1237,7	948,1	589,9	154355

нов $0-\infty \text{ нм}$, $300-1200 \text{ нм}$ (СОПЗА [7, 12]) и находящейся в СОПЗА видимой области спектра $350-770 \text{ нм}$ имеют вид

$$E_{e,СП}(n) = E_{e,СП,ср,средн} \left[1 + 0,1062 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right] \quad (7)$$

при $0 \leq \lambda \leq \infty \text{ нм}$,

$$E_{e,СП}(n) = E_{e,СП,ср,средн} \left[1 + 0,1153 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right] \quad (8)$$

при $300 \leq \lambda \leq 1200 \text{ нм}$,

$$E_{e,СП}(n) = E_{e,СП,ср,средн} \left[1 + 0,1287 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right] \quad (9)$$

при $350 \leq \lambda \leq 770 \text{ нм}$,

где $E_{e,СП,ср,средн} = 0,5(E_{e,СП,мин} + E_{e,СП,макс})$. Значения $E_{e,СП,ср,средн}$ для каждого спектрального диапазона приведены в последней строке табл. 1, а графики зависимостей (7)–(9) – на рис. 4.

Зависимость $E_{v,СП}(n)$, согласно (5), в пределах произвольного 11-летнего цикла солнечной активности имеет вид

$$E_{v,СП}(n) = E_{v,СП,ср,средн} \left[1 + 0,1247 \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (10)$$

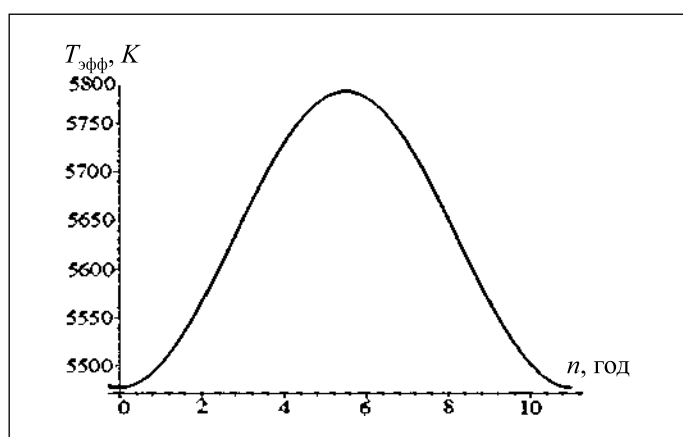


Рис. 3. Изменение эффективной термодинамической температуры излучения фотосферы Солнца $T_{эфф}$ в произвольном 11-летнем цикле солнечной активности

где значение $E_{v,СП,ср,средн}$ приведено в последней строке табл. 1, а график этой зависимости – на рис. 5.

Так как распространение СИ происходит в СОПЗА $300-1200 \text{ нм}$ [7, 12], определение облучённости, $E_{e,ЗП}(n)$, и освещённости, $E_{v,ЗП}(n)$, на земной поверхности в видимом диапазоне $350-770 \text{ нм}$ требует учёта лишь интегрального пропускания атмосферы.

Поскольку в земной атмосфере прямое излучение заатмосферного Солнца образует прямую (П) и рассеянную (Р) составляющие СИ, рассмотрим два соответствующих им интегральных коэффициента пропускания атмосферы – $\tau_{п}$ и $\tau_{р}$, зависящих от угловой высоты Солнца h в расчётной точке земной поверхности. Наличие зависимостей $\tau_{п}(h)$ и $\tau_{р}(h)$ обуславливает наличие соответствующих зависимостей $T_{эфф,п}(h)$ и $T_{эфф,р}(h)$, $e_{eS,п}[\lambda, n, T_{эфф}(h)]$, $e_{eS,р}[\lambda, n, T_{эфф}(h)]$, $E_{e,ЗП,п}(n, h)$, $E_{e,ЗП,р}(n, h)$, $E_{v,ЗП,п}(n, h)$ и $E_{v,ЗП,р}(n, h)$.

Анализ данных [13] показал, что при разных состояниях облачного покрова (включая безоблачное небо) и подстилающей поверхности выражения для $E_{e,ЗП,п}(n, h)$, $E_{e,ЗП,р}(n, h)$, $E_{v,ЗП,п}(n, h)$ и $E_{v,ЗП,р}(n, h)$ при любом n произвольного цикла солнечной активности (например, при $n = 0$ или 11, соответствующих минимальной солнечной активности) представимы в общей форме

$$E_{ЗП}(h) = a[1 + \sin(bh - c)]. \quad (11)$$

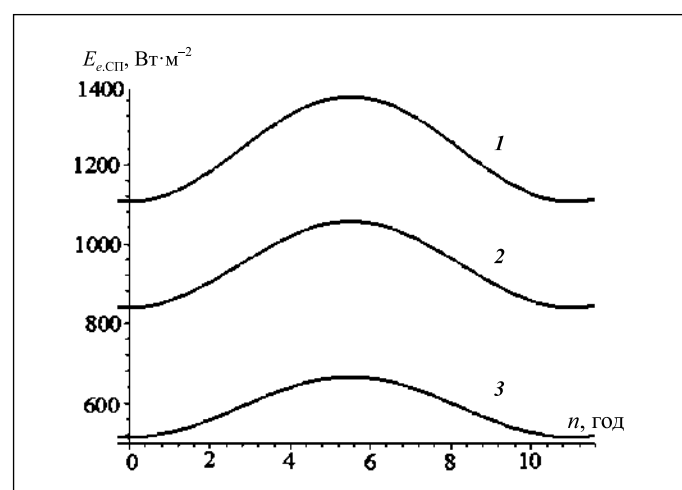


Рис. 4. Изменение солнечной постоянной $E_{e,СП}$ в разных спектральных диапазонах излучения Солнца в произвольном 11-летнем цикле солнечной активности: $0-\infty \text{ нм}$ (1), $2-300-1200 \text{ нм}$ (2), $350-770 \text{ нм}$ (3)

Значения $E_{3П}(90^\circ)$ при любых видах облачного покрова и безоблачном небе определяются путём аппроксимации данных [13] выражением (11) с последующей экстраполяцией до значения $h = 90^\circ$.

Очевидно, выражения зависимостей $\tau_{п}(h)$ и $\tau_{р}(h)$ имеют общий вид

$$\tau(h) = 0,5 \cdot \tau(90^\circ) \cdot [1 + \sin(bh - c)], \quad (12)$$

где $\tau(90^\circ)$ – интегральный коэффициент пропускания атмосферы при нормальном падении солнечного излучения на земную поверхность в СОПЗА и в видимом спектральном диапазоне, реализующийся на широте экватора в сутки весеннего и осеннего равноденствий и равный отношению $E_{v,3П, \text{мин}}(90^\circ) / E_{v,СП, \text{мин}}(90^\circ)$ или, соответственно, $E_{e,3П, \text{мин}}(90^\circ) / E_{e,СП, \text{мин}}(90^\circ)$.

С учётом выражения (11) значения $E_{e,3П, п}(n, h)$, $E_{e,3П, р}(n, h)$, $E_{v,3П, п}(n, h)$ и $E_{v,3П, р}(n, h)$ при разных видах облачного покрова и разной степени покрытия неба облаками в видимом спектре описываются как

$$E_{e,3П_{i,j}}(n, h) = E_{e,СП}(n) \cdot \tau_{i,j}(h), \quad (13)$$

$$E_{v,3П_{i,j}}(n, h) = E_{v,СП}(n) \cdot \tau_{i,j}(h), \quad (14)$$

где индексы i и j соответствуют разным видам облачного покрова и степени покрытия неба облаками соответственно.

В качестве примера в табл. 2 приведены значения $E_{e,3П, п}(n)$, $E_{e,3П, р}(n)$, $E_{v,3П, п}(n)$ и $E_{v,3П, р}(n)$ в отсутствие облачного покрова в СОПЗА и в видимом диапазоне в условиях минимальной и максимальной солнечной активности.

Сведения, приведённые в табл. 2, получены с использованием значений $\tau_{п}(90^\circ) = 0,729$ и $\tau_{р}(90^\circ) = 0,205$ для безоблачного неба после аппроксимации и последующей экстраполяции данных [13].

Зависимости $E_{e,3П, п}(n, h)$, $E_{e,3П, р}(n, h)$ и их сумма $E_{e,3П, п+р}(n, h)$ в СОПЗА 300–1200 нм в условиях отсутствия облачного покрова имеют вид

$$E_{e,3П, п}(n, h) = 0,5E_{e,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,035h - 1,473)] \times \left[1 + 0,1153 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (15)$$

$$E_{e,3П, р}(n, h) = 0,5E_{e,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,030h - 1,094)] \times \left[1 + 0,1153 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (16)$$

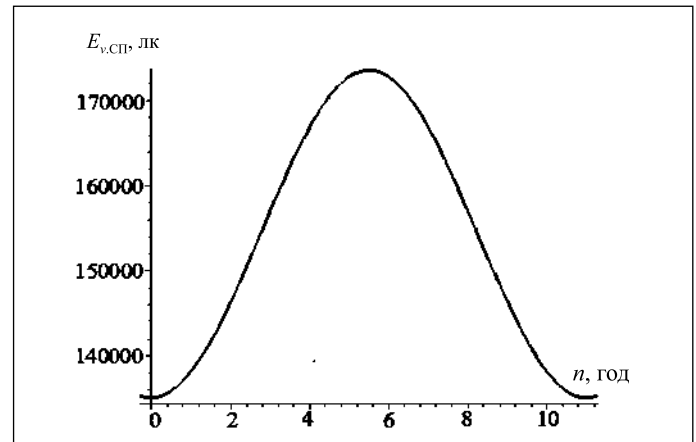


Рис. 5. Изменение световой солнечной постоянной $E_{v,СП}$ в видимом спектральном диапазоне в произвольном 11-летнем цикле солнечной активности

$$E_{e,3П, п+р}(n, h) = E_{e,3П, п}(n, h) + E_{e,3П, р}(n, h). \quad (17)$$

Значения $E_{e,3П, \text{средн}}$ в (15)–(17) и в последующих выражениях (18)–(23) приведены в последней строке табл. 2.

Аналогичные зависимости и их сумма в спектральном диапазоне 350–770 нм также в отсутствие облачного покрова имеют вид

$$E_{e,3П, п}(n, h) = 0,5E_{e,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,035h - 1,473)] \times \left[1 + 0,1287 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (18)$$

$$E_{e,3П, р}(n, h) = 0,5E_{e,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,030h - 1,094)] \times \left[1 + 0,1287 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (19)$$

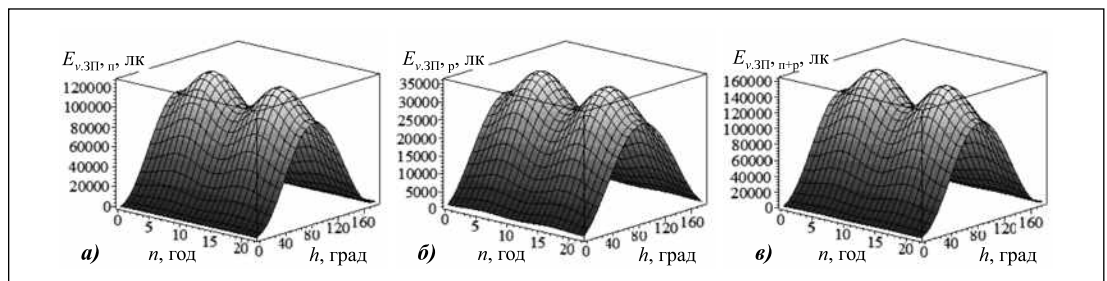
$$E_{e,3П, п+р}(n, h) = E_{e,3П, п}(n, h) + E_{e,3П, р}(n, h). \quad (20)$$

Зависимости $E_{v,3П, п}(n, h)$ и $E_{v,3П, р}(n, h)$ в спектральном диапазоне 350–770 нм при отсутствии облачного покрова имеют вид

$$E_{v,3П, п}(n, h) = 0,5E_{v,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,035h - 1,473)] \times \left[1 + 0,1247 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (21)$$

$$E_{v,3П, р}(n, h) = 0,5E_{v,3П, \text{средн}} [1 + \sin(0,030h - 1,094)] \times \left[1 + 0,1247 \sin\left(\frac{2\pi n}{11} - \frac{\pi}{2}\right) \right], \quad (22)$$

Рис. 6. Зависимости прямой (а), рассеянной (б) и суммарной (в) освещённости на земной поверхности от угловой высоты Солнца h и номера года n в пределах двух 11-летних циклов солнечной активности



Прямые и рассеянные облучённости и освещённости на земной поверхности при минимуме и максимуме солнечной активности в отсутствие облачного покрова в спектральном окне прозрачности атмосферы и в видимом спектральном диапазоне

Характер солнечной активности	При $300 \leq \lambda \leq 1200$ нм		При $350 \leq \lambda \leq 770$ нм		При $350 \leq \lambda \leq 770$ нм	
	$E_{e,3П,п}, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$	$E_{e,3П,р}, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$	$E_{e,3П,п}, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$	$E_{e,3П,р}, \text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$	$E_{v,3П,п}, \text{ЛК}$	$E_{v,3П,р}, \text{ЛК}$
Минимум	611,2	172,3	374,6	105,6	98470	27750
Максимум	770,6	217,2	485,2	136,8	126520	35660
Среднее	690,9	194,7	429,9	121,2	112490	31700

$$E_{v,3П,п+р}(n, h) = E_{v,3П,п}(n, h) + E_{v,3П,р}(n, h). \quad (23)$$

В качестве примера на рис. 6 показаны графики зависимостей $E_{v,3П}(n, h)$ по выражениям (21)–(23) в пределах двух циклов солнечной активности.

Графики зависимостей $E_{e,3П}(n, h)$ по соотношениям (15)–(20) имеют форму, подобную форме графиков на рис. 6, но с минимальными и максимальными значениями $E_{e,3П}$, согласно табл. 2.

Использование предложенного подхода позволяет получать подобные результаты для девяти видов облачного покрова ($A_c, C_b, C_c, C_i, C_s, C_w, N_s, S_c, S_i$) и четырёх значений степени покрытия неба облаками, рассмотренных в [13].

Полученные результаты позволяют уточнять изменения энергетических и светотехнических характеристик СИ на земной поверхности в произвольные сутки в пределах произвольного года в 11-летнем цикле солнечной активности, а также повышать точность проводимых расчётов естественных облучённости и освещённости на земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарула С. Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения // Светотехника – 2019. – № 1. – С. 6–20.
2. Солнечная постоянная / Е.А. Макарова // Физика космоса / Редкол.: Р.А. Сюняев (Гл. ред.) и др. – 2-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – С. 627.
3. Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М.: Наука, 1986.
4. URL: <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics> (SILSO data/image, Royal Observatory of Belgium, Brussels) (дата обращения: 26.02.2019).

5. URL: http://ciclowiki.org/wiki/11-летний_цикл_солнечной_активности/ (дата обращения: 26.02.2019).

6. Мешков В.В. Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов. Ч. 1–2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.

7. Аллен К.У. Астрофизические величины (Справочник). Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 279 с.

8. Мартынов Д.Я. Курс практической астрофизики. Изд. 3-е, перераб. – М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1977. – 544 с.

9. Кмито А.А., Скляр Ю.А. Пиргелиметрия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 232 с.

10. Солнечная постоянная / Большая советская энциклопедия. Том 40 2-е изд. / Глав. ред. Б.А. Введенский. – М.: Большая сов. энциклопедия, 1956. – С. 25.

11. Зверева С.В. Солнце как источник света. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 160 с.

12. Кононович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: Учеб. пособие / Под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 544 с.

13. Таблицы для расчёта природной освещённости и видимости / Составлены Астрофиз. лаб. Ленинградского ун-та под рук. проф. В.В. Шаронова. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – 199 с.



Леонидов Александр Вячеславович,
кандидат техн. наук. Окончил в 1970 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света»

На саммите «Россия-Африка» подписано новое соглашение о сотрудничестве с Бурунди

В рамках саммита «Россия-Африка», который проходил в Сочи 23–24 октября, «Лисма» подписала два важных соглашения, которые выведут её деятельность в Бурунди на новый уровень.

Первый документ – Меморандум о сотрудничестве между компаниями «Лисма» и «Стромизмеритель» с одной стороны и компанией TLLINNO с другой, предусматривающий создание производства стеклянной тары в Республике Бурунди и организацию нового объединения под названием *Delta Glass Africa DGA*. Подписи под документом поставили первые лица вышеуказанных компаний Игорь Константинов, Константин Субботин и Моис Сагамба. Стороны приступают к формированию дорожной карты проекта.

Также на саммите подписан договор о поставке второй очереди оборудования для производства источников света «TLLINNO». Линии для

их сборки будут спроектированы и смонтированы специалистами «Лисмы»; их запуск в Бужумбуре позволит значительно увеличить объём выпуска светотехнической продукции в Африке.

С этим событием делегацию «Лисмы» поздравил глава официальной делегации Бурунди, второй вице-президент Джозеф Буторе. Он пожелал скорейшего перехода к активной работе. Напомним, во время предыдущих встреч Буторе не раз подчёркивал значимость сотрудничества с «Лисмой» для развития этого африканского государства. Именно благодаря его постоянной личной поддержке реализованы многие проекты.

lisma.su
28.10.2019

Мощность потерь в индукторе бесферритных индукционных ртутных ламп НД с замкнутой разрядной трубкой

Е.В. ЛОВЛЯ, О.А. ПОПОВ *

НИУ «МЭИ», Москва

* E-mail: popovoleg445@yahoo.com

Аннотация

В рамках трансформаторной модели проведены оценки мощности потерь в ВЧ индукторе бесферритной индукционной лампы НД с замкнутой разрядной диэлектрической трубкой внутреннего диаметра 16, 25 и 38 мм при частоте ВЧ поля 1,7, 3,4 и 5,1 МГц и мощности плазмы разряда 25–500 Вт. Разряд возбуждался в смеси паров ртути (давление около $7,5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.) и аргона (давление 0,1, 0,3 и 1,0 мм рт. ст.) с помощью катушки индуктивности с числом витков 3, 4 и 6, размещённой по «внутреннему» периметру указанной трубки. Установлено, что зависимость мощности потерь в проводе катушки (P_{coil}) от мощности плазмы разряда имеет минимум и что P_{coil} падает с ростом частоты ВЧ поля, диаметра разрядной трубки и числа витков катушки индуктивности и слабо зависит от давления аргона. Результаты расчёта находятся в удовлетворительном качественном согласии с экспериментальными, а расхождения объясняются неучётом в модели разряда скин-эффекта и радиальной неоднородности напряжённости электрического поля.

Ключевые слова: индукционный разряд, замкнутая разрядная трубка, разрядная плазма, НД, катушка индуктивности, мощность потерь.

Введение

Плазма бесферритных индукционных разрядов, возбуждаемых в смеси паров ртути и инертных газов НД в замкнутых кварцевых трубках, – перспективный источник УФ излучения [1, 2]. Из-за отсутствия внутренних электродов индукционные УФ лампы могут работать при низких давлениях буферного инертного газа (0,1–0,5 мм рт. ст.), наиболее эффективных для генерации УФ резонансного излучения ртутной плазмы НД [3].

Поскольку в бесферритном индукционном разряде НД, возбуждаемом на частоте $f < 10$ МГц, электромагнитное излучение ничтожно мало [4], то потребляемая лампой мощность P_{lamp} складывается из поглощаемой плазмой разряда мощности P_{pl} и мощности потерь в проводе катушки P_{coil} [5, 6]. Из этого следует, что для получения энергоэффективных индукционных УФ ламп следует максимизировать КПД катушки индуктивности $\eta_{\text{coil}} (= 1 - P_{\text{coil}}/P_{\text{lamp}})$ [1], т.е. минимизировать P_{coil} .

В настоящей работе с использованием трансформаторной модели индукционного разряда НД [5, 6] исследовалось влияние на P_{coil} конструктивных параметров замкнутой разрядной трубки (её диаметра и давления буферного инертного газа), числа витков катушки N , f и P_{pl} .

Конструкции разрядной трубки и ВЧ индуктора

Расчёты проводились для ламп длиной (l_{lamp}) 406, 426 и 454 мм и шириной (H_{lamp}) 106, 126 и 154 мм соответственно, имеющих: разрядную трубку с внутренним диаметром (d_t) 16, 25 и 38 мм и толщиной стенки (Δ) 1,0, 1,5 и 2,0 мм соответственно; катушку индуктивности из многожильного медного провода (литцендрат) диаметром (d_w) 1,63 мм с удельным погонным сопротивлением (ρ_w) $8,5 \cdot 10^{-4}$

Ом/см (при $f = 2\text{--}5$ МГц) и $N = 3, 4$ и 6, размещённую по «внутреннему» периметру лампы с длиной каждой «длинной» (l_{per}) и каждой «короткой» (H_{per}) его сторон 370 и 70 мм соответственно (рис. 1). При этом: а) давление паров ртути в трубке принималось оптимальным (по максимуму потока резонансного излучения): порядка $7,5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., а давление инертного газа (аргон) – равным 0,1, 0,3 и 1,0 мм рт. ст.; б) значения f выбирались из условия $\omega \ll \nu_e$ (где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота ВЧ поля, ν_e – частота упругих соударений в плазме электронов с атомами ртути и инертного газа), при котором можно пренебречь реактивной (индуктивной) составляющей напряжённости ВЧ электрического поля в плазме E_{pl} ; в) принималось, что $P_{\text{pl}} = 25\text{--}500$ Вт.

Уравнения для расчёта параметров плазмы и катушки индуктивности

Для расчёта электрических параметров плазменного витка и катушки индуктивности использовалась трансформаторная модель индукционного разряда НД [5, 6] при допущении постоянно-токовой аналогии [4] и пространственной (радиальной и азимутальной) однородности E_{pl} и пренебрежении скин-эффектом.

P_{coil} рассчитывалась как

$$P_{\text{coil}} = I_{\text{coil}}^2 R_{\text{coil}}, \quad (1)$$

где I_{coil} – ВЧ ток в катушке, а R_{coil} – активное сопротивление провода катушки, рассчитываемое как

$$R_{\text{coil}} = \rho_w l_{\text{coil}}, \quad (2)$$

где l_{coil} – длина провода катушки, определяемая как

$$l_{\text{coil}} = 2(l_{\text{per}} + H_{\text{per}})N. \quad (3)$$

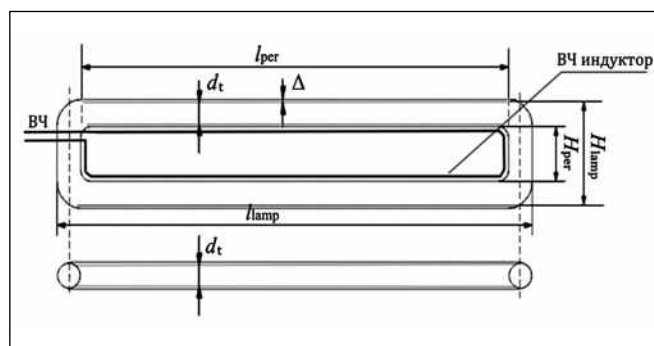


Рис. 1. Схематический эскиз бесферритной индукционной лампы с замкнутой разрядной трубкой и ВЧ индуктором (катушкой индуктивности)

Рис. 2. Зависимость мощности потерь в проводе катушки P_{coil} от мощности плазмы P_{pl} . Диаметр трубки d_t , мм: 16 (красный), 25 (синий), 38 (чёрный); давление аргона p_{Ar} , мм рт. ст.: ● – 0,1; ▲ – 0,3; ■ – 1,0; количество витков катушки $N = 4$; частота ВЧ поля $f = 3,4$ МГц

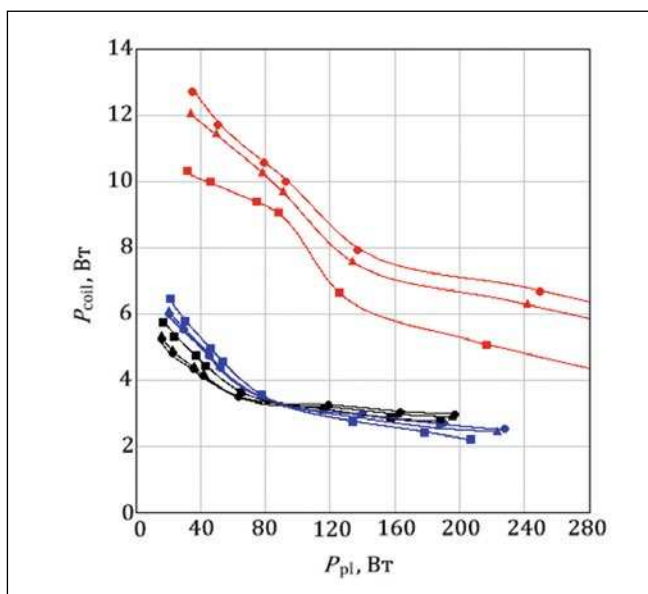


Рис. 3. Зависимость P_{coil} от P_{pl} . d_t , мм: 16 (красный), 25 (синий), 38 (чёрный); p_{Ar} , мм рт. ст.: ● – 0,1; ▲ – 0,3; ■ – 1,0; $N = 4$; $f = 5,1$ МГц

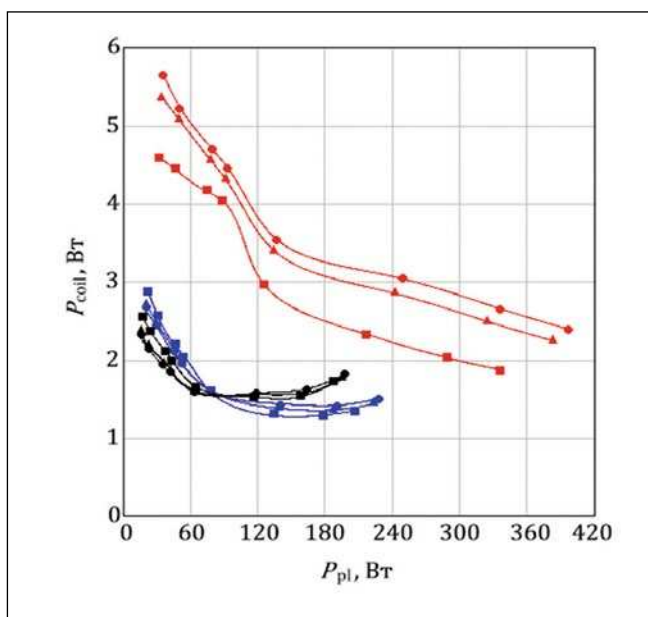
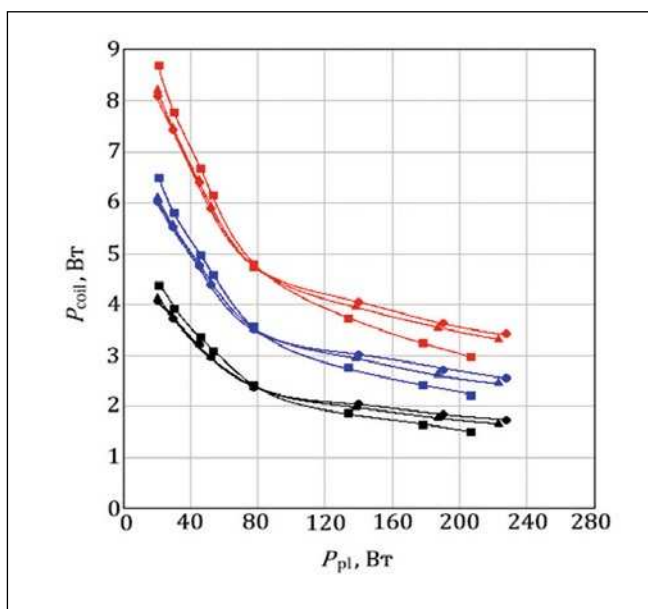


Рис. 4. Зависимость P_{coil} от мощности плазмы P_{pl} . $d_t = 25$ мм; N : 3 (красный), 4 (синий), 6 (чёрный); p_{Ar} , мм рт. ст.: ● – 0,1; ▲ – 0,3; ■ – 1,0; $f = 3,4$ МГц



В соответствии с трансформаторной моделью индукционного разряда выражение для ВЧ тока индуктора I_{coil} имеет вид [6]

$$I_{\text{coil}} = \frac{\bar{E}_{\text{pl}} A_{\text{pl}} \sqrt{1 + Q_{\text{pl}}^2}}{\omega M}, \quad (4)$$

где A_{pl} – длина плазменного витка, определяемая как длина осевой линии замкнутой разрядной трубки, \bar{E}_{pl} – усреднённая по сечению плазменного витка активная составляющая напряжённости ВЧ электрического поля в плазме, M – взаимная индуктивность плазменного витка и катушки индуктивности [5, 6]:

$$M = k \sqrt{L_{\text{coil}} L_{\text{ind}}}, \quad (5)$$

где L_{coil} – индуктивность плоской катушки ($D_{\text{coil}} \gg H_{\text{coil}}$):

$$L_{\text{coil}} = 0,56 \mu_0 \pi D_{\text{coil}} N^2, \quad (6)$$

где $H_{\text{coil}} \approx d_w$ – высота катушки, $D_{\text{coil}} = (4S_{\text{coil}}/\pi)^{1/2}$ – эквивалентный диаметр катушки; k – коэффициент связи плазменного витка с катушкой, рассчитываемый, как отношение охватываемой витком катушки площади S_{coil} к площади, охватываемой плазменным витком, S_{pl} [5, 6]:

$$k = \frac{S_{\text{coil}}}{S_{\text{pl}}},$$

где Q_{pl} – добротность плазменного витка, определяемая как

$$Q_{\text{pl}} = \frac{\omega L_{\text{ind}}}{R_{\text{pl}}},$$

где $R_{\text{pl}} = P_{\text{pl}}/I_{\text{pl}}^2$ – активное сопротивление плазменного витка, I_{pl} – разрядный ток лампы, L_{ind} – геометрическая индуктивность плазменного витка [7]:

$$L_{\text{ind}} = 2\pi D_{\text{pl}} \left[\ln \left(\frac{4D_{\text{pl}}}{0,39d_{\text{pl}}} \right) - 2 \right] \cdot 10^{-9},$$

где $d_{\text{pl}} \approx 0,75d_t$ – диаметр сечения плазменного витка, $D_{\text{pl}} = (4S_{\text{pl}}/\pi)^{1/2}$ – эквивалентный диаметр охватываемого плазменным витком сечения площадью S_{pl} [8].

Из (1)–(4) вытекает выражение, связывающее P_{coil} с параметрами катушки и плазмы индукционного разряда:

$$P_{\text{coil}} = \frac{(\bar{E}_{\text{pl}} A_{\text{pl}})^2 (1 + Q_{\text{pl}}^2) \rho_w l_{\text{coil}}}{(\omega M)^2}. \quad (7)$$

При этом, в приближении постоянно-токовой аналогии, в качестве значений \bar{E}_{pl} при указанных выше давлениях аргона и паров ртути использовались соответствующие значения напряжённости электрического поля в положительном столбе ртутно-аргонового разряда переменного тока на частоте 50 Гц [9].

Уравнение (7) с учётом выражений (3), (5) и (6) можно привести к виду

$$P_{\text{coil}} = \frac{(\bar{E}_{\text{pl}} A_{\text{pl}})^2 (1 + Q_{\text{pl}}^2) \rho_w (l_{\text{per}} + H_{\text{per}})}{0,28 \mu_0 \pi D_{\text{coil}} N (k \omega)^2 L_{\text{ind}}}. \quad (8)$$

Результаты расчётов и их обсуждение

На рис. 2–5 приведены зависимости P_{coil} от P_{pl} , рассчитанные для ламп с вышеуказанными вариантами конструкций разрядной трубки и ВЧ индуктора.

Видно, что при относительно малых P_{pl} во всех лампах P_{coil} заметно падает с ростом P_{pl} . С дальнейшим увеличением P_{pl} это падение «замедляется» и при некотором значении $P_{\text{pl}} = P_{\text{pl, min}}$ P_{coil} достигает минимума $P_{\text{coil, min}}$, а затем несколько возрастает с ростом P_{pl} . Чем больше d_t , тем при меньшем $P_{\text{pl, min}}$ достигается $P_{\text{coil, min}}$.

Повышение f приводит к снижению P_{coil} и сдвигает $P_{\text{coil, min}}$ в сторону меньших P_{pl} . Такое снижение следует из трансформаторной модели индукционного разряда, возбуждаемого на $\omega \ll \nu_e$, т.к. при этом изменение ω никак не сказывается на балансе мощности в плазме [4]. Соответственно, \bar{E}_{pl} , а значит и ВЧ напряжение на плазменном витке $U_{\text{pl}} (= \bar{E}_{\text{pl}} A_{\text{pl}})$, не зависят от частоты ω . В соответствии с трансформаторной моделью индукционного разряда ВЧ напряжение на катушке индуктивности U_{coil} связано с U_{pl} как $U_{\text{coil}} \approx U_{\text{pl}} N / k^{1/2}$ [2, 6].

В то же время индуктивное сопротивление катушки ωL_{coil} , где L_{coil} – индуктивность катушки, линейно растёт с ростом ω . А поскольку ток $I_{\text{coil}} \approx U_{\text{coil}} / (\omega L_{\text{coil}})$, т.к. $\omega L_{\text{coil}} \gg R_{\text{coil}}$, то он обратно пропорционален ω , а P_{coil} , с учётом (1), обратно пропорционален f^2 . Это и показывают результаты расчёта P_{coil} при двух разных f , 3,4 и 5,1 МГц, для ламп с одинаковыми

Рис. 5. Зависимость P_{coil} от P_{pl} . $d_t = 16$ и 25 мм; $\rho_{\text{Ar}} = 1,0$ мм рт. ст.; $N = 3$; $f = 1,7$ МГц

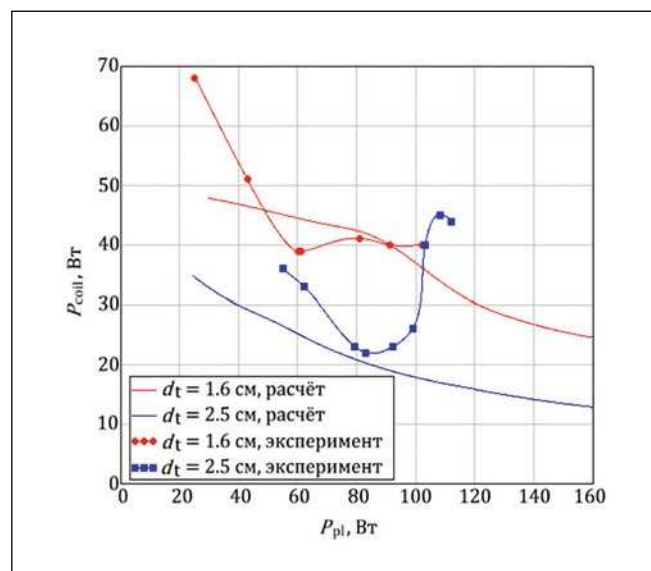
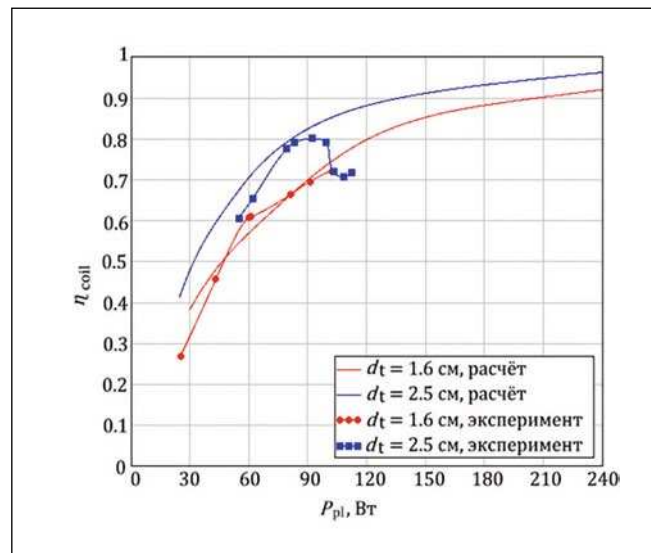


Рис. 6. Зависимость КПД ВЧ индуктора (катушки) η_{coil} от P_{pl} . $d_t = 16$ и 25 мм; $\rho_{\text{Ar}} = 1,0$ мм рт. ст.; $N = 3$; $f = 1,7$ МГц



конструктивными параметрами (рис. 2 и 3).

При этом также видно, что P_{coil} при относительно больших P_{pl} в лампе с $d_t = 38$ мм может быть больше, чем в лампе с $d_t = 25$ мм. Чем выше f , тем при меньших P_{pl} пересекаются кривые $P_{\text{coil}}(P_{\text{pl}})$, рассчитанные для ламп с разными d_t .

В низкотемпературной плазме НД повышение её мощности (фактически, концентрации электронов n_e) сопровождается переходом ионизации от прямой к ступенчатой и, как следствие, уменьшением E_{pl} [4]. В индукционных бесферритных разрядах НД, возбуждаемых с помощью катушки индуктивности на частотах $\omega \ll \nu_e$, снижение \bar{E}_{pl} приводит к снижению U_{pl} , и, согласно (7) и (8), тем более P_{coil} .

Увеличение d_t , от 16 до 25 мм снижает \bar{E}_{pl} [2, 9], что, по (8), существенно снижает P_{coil} (рис. 2 и 3), но уве-

личивает A_{pl} и Q_{pl} , и уменьшает (из-за увеличения $S_{\text{pl}})$ k . В результате, как следует из (8) и рис. 2 и 3, зависимость P_{coil} от d_t носит сложный характер, с минимумом при повышенных P_{pl} и f .

Повышение давления буферного газа (аргона) от 0,1 до 1,0 мм рт. ст. несущественно снижает E_{pl} [9] и, в соответствии с (7) и (8), P_{coil} (рис. 2 и 3).

Рост P_{pl} (а, следовательно, I_{pl} и n_e) сопровождается уменьшением R_{pl} , что (при разумном допущении независимости L_{ind} от I_{pl}) повышает $Q_{\text{pl}} (= \omega L_{\text{ind}} / R_{\text{pl}})$. При малых P_{pl} , когда велико R_{pl} , Q_{pl} низка ($< 0,1$) и, согласно (7) и (8), не влияет на P_{coil} . С ростом P_{pl} и d_t уменьшается R_{pl} и Q_{pl} , и, соответственно, растёт влияние последней на P_{coil} и на характер зависимости P_{coil} от P_{pl} , которая из падающей становится возрастающей, образуя минимум (рис. 3). Аналогичные зависи-

мости P_{coil} от P_{pl} с минимумом, смещающимся с ростом f и d_t в сторону меньших P_{pl} , экспериментально наблюдались в линейных бесферритных индукционных лампах, возбуждаемых с помощью катушки индуктивности на $f = 6\text{--}12$ МГц [10].

Как видно из рис. 4, увеличение N снижает P_{coil} , согласно (11).

Сравнение результатов расчёта с экспериментом

Как видно из рис. 5, рассчитанные для обеих указанных ламп значения P_{coil} с ростом P_{pl} практически монотонно падают с 48 до 25 Вт при $d_t = 16$ мм и с 35 до 12 Вт при $d_t = 25$ мм. При этом экспериментальные зависимости P_{coil} от P_{pl} [2] (рис. 5) имеют по одному минимуму: слабо выраженному при $P_{\text{pl, min}} = 60$ Вт в лампе с $d_t = 16$ мм и ярко выраженному при $P_{\text{pl, min}} = 85$ Вт в лампе с $d_t = 25$ мм. Отметим, что в лампе с $d_t = 16$ мм экспериментальные значения P_{coil} близки к рассчитанным, а в лампе с $d_t = 25$ мм значительно больше них.

Из рис. 5 также видно, что минимумы кривых $P_{\text{coil}}(P_{\text{pl}})$ приходятся на заметно меньшие P_{pl} чем те, которые в индукционных разрядах с $f = 1,7$ МГц соответствуют минимумам, связанным с повышением Q_{pl} с ростом P_{pl} . Представляется, что минимум и последующий рост P_{coil} в экспериментальных зависимостях P_{coil} от P_{pl} для обеих ламп связаны со скин-эффектом, проявляющимся в индукционных разрядах при $f = 1\text{--}5$ МГц и $n_e > 10^{11}$ см⁻³ [4, 10, 11].

Действительно, скин-эффект, «выталкивающий» ВЧ электрическое поле к стенкам разрядной трубки в месте расположения провода катушки, повышает \bar{E}_{pl} [4, 11], приводя этим к росту P_{coil} . Расхождение расчётных данных с экспериментальными, вероятно, связано с учётом скин-эффекта в модели индукционного разряда.

Из рис. 6 видно, что в обеих рассматриваемых лампах при относительно малых P_{pl} η_{coil} с ростом P_{pl} быстро растёт, далее асимптотически, при больших P_{pl} , стремясь к 1. Различия в характере экспериментальных и рассчитанных зависимостей η_{coil} от P_{pl} в лампе с $d_t = 25$ мм при $P_{\text{pl}} > 85$ Вт, очевидно, связаны с учётом скин-эффекта в расчётной модели, приводящего к повышению P_{coil} при таких P_{pl} и соответствующему снижению η_{coil} .

Заключение

- С использованием трансформаторной модели получены аналитические выражения, позволяющие рассчитывать мощность потерь в проводе катушки индукционного разряда НД P_{coil} , возбуждаемого на частотах $\omega \ll \nu_e$ в бесферритной замкнутой трубке в смеси паров ртути и аргона.

- Обнаружено, что зависимость P_{coil} от P_{pl} имеет минимум, который сдвигается с увеличением диаметра разрядной трубки d_t и частоты ВЧ поля f в сторону меньших P_{pl} .

- Показано, что d_t влияет на P_{coil} «через» напряжённость электрического поля, добротность и длину плазменного витка и коэффициент связи катушки с плазменным витком.

- Установлено, что P_{coil} обратно пропорциональна числу витков катушки N и в исследованном интервале давлений 0,1–1,0 мм рт. ст. незначительно снижается с ростом давления инертного газа (аргона).

- Результаты расчётов P_{coil} и КПД катушки для бесферритной индукционной лампы с $d_t = 16$ мм находятся в удовлетворительном согласии с экспериментом. Расхождения с экспериментом результатов аналогичных расчётов для лампы с d_t большего диаметра, 25 мм, при $P_{\text{pl}} \geq 80$ Вт предположительно связаны с учётом в трансформаторной модели индукционного разряда НД скин-эффекта, проявляющегося при повышенных P_{pl} .

- Полученные результаты могут использоваться для оптимизации конструктивных параметров (d_t и длины разрядной трубки, N) и f ВЧ поля индукционных бесферритных ртутных УФ ламп НД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Левченко В.А., Васина В.Н. Индукционная УФ лампа на основе ртутного разряда НД в замкнутой бесферритной трубке // Светотехника. – 2019. – № 2. – С. 44–46.
2. Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Васина В.Н., Левченко В.А. Электрические и излучательные характеристики индукционных бесферритных ртутных УФ ламп в замкнутых трубках // Вестник МЭИ. – 2019. – № 3. – С. 87–97.
3. Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В. Электрические

и излучательные характеристики лампы трансформаторного типа с разрядной трубкой диаметром 16,6 мм // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 41–44.

4. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 591 с.

5. Piejak R.B., Godyak V.A., Alexandrovich B.M. A Simple Analyses of an Inductive RF Discharge // Plasma Sources Sci. Technol. – 1992. – № 1. – P. 179–185.

6. Popov O.A., Chandler R.T. Ferrite-free High Power Electrodeless Fluorescent Lamp Operated at a Frequency of 160–1000 kHz // Plasma Sources Science and Technology. – 2002. – Vol. 11. – P. 218–227.

7. Gudmundsson J.T. and Lieberman M.A. Magnetic induction and plasma impedance in a cylindrical inductive discharge // Plasma Sources Sci. Tech. – 1997. – Vol. 6. – № 4. – P. 540–550.

8. Попов О.А., Старшинов П.В., Васина В.Н. Исследование характеристик индукционного бесферритного ртутного разряда низкого давления в замкнутой трубке // Вестник МЭИ. – 2018. – № 4. – С. 89–96.

9. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 720 с.

10. Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А., Старшинов П.В. Характеристики бесферритного индукционного разряда низкого давления. Часть 1. Электрические параметры индуктивной катушки // Успехи прикладной физики. – 2016. – № 2. – С. 139–149.

11. Никифорова В.А., Попов О.А. Влияние частоты ВЧ поля и разрядного тока на радиальное распределение параметров плазмы индукционного бесферритного разряда в замкнутой трубке // Вестник МЭИ. – 2012. – № 1 – С. 108–114.



Ловля Екатерина Владимировна, студент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Попов Олег Алексеевич, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Академик АЭН РФ

Сравнение энергопотребления имеющих разную топологию беспроводных сенсорных сетей осветительных установок¹

М. ЦИБУК, М.С. СЕНГИЗ

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция
E-mails: mcibuk@beu.edu.tr, msaitcengiz@gmail.com

Аннотация

Беспроводные сенсорные сети (БСС) в настоящее время используются во многих областях, в частности, в системах дистанционного управления, особенно освещением главных улиц и дорог и в связанных с ними автономных объектов.

Целью данного исследования являлось определение количества энергии, потребляемой БСС, обеспечивающей работу системы мониторинга и управления в случае автономных осветительных установок, питаемых возобновляемыми источниками энергии. При этом была поставлена задача максимизации срока службы БСС, что достигается посредством уменьшения энергопотребления автономного оборудования. Рассмотрение различных реальных топологий БСС осветительных установок позволило продемонстрировать различия в затратах, рабочей силе и времени. Имеющие различные топологии БСС автономных осветительных установок были смоделированы и проанализированы с целью получения оптимального решения. Энергопотребление БСС с линейной, произвольной и древовидной топологиями было определено для режима обмена данными. В рамках каждой из топологий были смоделированы включающие в себя 25, 50, 100 и 200 светильников осветительные установки, для каждой из которых было определено энергопотребление БСС при работе в режиме обмена данными. Показано, что на энергопотребление влияет в первую очередь количество скачков между узлами и что наибольшее потребление энергии имеет место в случае БСС с линейной топологией, а наименьшее – в случае БСС с древовидной топологией.

Ключевые слова: осветительная установка, беспроводные сенсорные

сети, топология сети, автономные осветительные установки.

1. Введение

В настоящее время приходящаяся на освещение часть полного энергопотребления увеличивается день ото дня. Для реализации экологичного и непрерывного освещения нужны интеллектуальные осветительные установки (ОУ), в которых часто используются беспроводные сенсорные сети (БСС), обеспечивающие возможность автоматизации и дистанционного контроля и управления. Классическая БСС состоит из узлов, распределённых случайным образом или в соответствии с планом и имеющих малую пропускную способность.

В данной работе применительно к имеющим разные топологии БСС рассмотрено количество энергии, потребляемой при обмене между узлами информацией, необходимой для работы ОУ. Сравнение потребляемой разными топологиями энергии было проведено применительно к дорожному освещению, и на основе полученных результатов были выработаны рекомендации относительно оптимальной топологии. В рассматриваемой в данной работе системе дистанционного контроля и управления в узлах осветительной установки (УОУ) регистрируются и сохраняются в памяти, а затем передаются на центральный узел осветительной установки (ЦУОУ) различные параметры, такие как создаваемая светильниками освещённость, уменьшение светового потока по сравнению с первым днём работы ОУ, наличие тумана, уровень влажности, температура воздуха, включение и выключение светильника, угловое расположение светильника относительно земли. Обмен данными между узлами сопровождается потреблением энергии, зависящим как от используемых устройств, так и от топологии

сети. Для обеспечения связи между узлами и минимизации расходуемой на передачу данных энергии в работе была предпринята попытка выявления оптимальной топологии, которая привела бы к увеличению энергоэффективности.

2. Беспроводные сенсорные сети для осветительных установок

Сенсорные узлы в общем случае могут быть распределены по освещаемому участку произвольным образом или упорядоченно по отношению к рассматриваемому месту. При формировании БСС нет необходимости в предварительном определении местоположений сенсорных узлов [1–4].

В многочисленных исследованиях освещения были рассмотрены различные БСС, предназначенные для дистанционного управления интеллектуальными системами освещения. В исследованиях, проведённых применительно к освещению, обычно рассматривались системы на основе технологий *Zigbee* или *GPRS* с заметным преобладанием технологии *Zigbee*. Так, в [5] была предложена основанная на *Zigbee* интеллектуальная система управления освещением главной улицы. Эта система была предназначена для управления ОУ без вмешательства людей. В [6] была предложена также основанная на *Zigbee* система управления уличным освещением, в которой использовались сеть и датчики, предназначенные, в частности, для предотвращения дорожных происшествий. В этом исследовании, направленном на уменьшение потребления электроэнергии, измерительные станции, расположенные на главной улице, через определённые промежутки времени измеряли уровень естественного освещения и степень дорожной активности. В работе [7], целью которой было увеличение энергоэффективности ОУ с основанным на *Zigbee* дистанционным управлением, рассматривалась расходуемая на управление энергия. В [8] была предложена система дистанционного управления, обеспечившая уменьшение энергии, потребляемой ОУ, до 60 %. В этой системе управление осуществлялось при помощи микроконтроллера и технологии *Zigbee*. При этом подчёркивалось, что использование *GPRS-GSM* привело бы к уменьшению затрат,

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Сравнение ZigBee, GPRS-GSM и nRF905

	Частота, МГц	Модуляция	Топология	Энергопотребление	Скорость передачи данных	Радиус зоны покрытия, м	Многоканальность
ZigBee	868/915/2400	BPSK, OQPSK	Звезда, P2P, сеть	Низкое	250 кбит/с	10–100	Нет
nRF905	433/868 / 915	GFSK	–	Очень низкое	250 кбит/с, 1 Мбит/с, 2 Мбит/с	250	Да
GPRS-GSM	850/900/1800/1900	GMSK	P2P, P2M	Высокое	56–114 кбит/с	1000+	Нет

и отмечалось, что для увеличения энергоэффективности управляемых дистанционно интеллектуальных систем дорожного освещения правильнее было бы использовать сочетание технологий Zigbee и GPRS-GSM.

Хотя использование в этих исследованиях технологии Zigbee и привело к увеличению энергоэффективности, присущая этой технологии низкая пропускная способность передачи данных препятствует её применению в случае требующей высокой скорости передачи данных работы в реальном масштабе времени. Например, хотя технология Zigbee и обеспечивает удовлетворительную передачу данных в системе, включающей в себя 25 светильников, она не подходит для передачи данных в случае протяжённых ОУ с гораздо большим количеством УОУ. Так как при большом потоке данных для связи между УОУ и ЦУОУ требуется гораздо больше энергии, то питающие светильники аккумуляторы разряжаются быстрее, вследствие чего эти светильники выпадают из состава ОУ. Применительно к дистанционному управлению освещением на втором по распространённости месте после Zigbee стоит технология GPRS-GSM, и в литературе часто предлагается использовать в интеллектуальных ОУ дистанционное управление на основе именно GPRS-GSM [9–12].

Из-за присущей технологиям Zigbee и GPRS-GSM низкой скорости передачи данных и других недостатков, таких как высокие затраты на инфраструктуру, в основу данного исследования был положен приёмопередатчик nRF905, характеризующийся более низкой стоимостью, распространённостью, простотой в эксплуатации и очень низким энергопотреблением при обмене данными [13]. Сравнение Zigbee, GPRS-GSM и nRF905 проведено в табл. 1.

3. Связь между беспроводными сенсорными сетями и коэффициентом эксплуатации

В настоящее время для интеллектуального освещения нужны автоматизированные системы, обеспечивающие бесперебойное освещение и меньше нуждающиеся в техническом обслуживании. Основная задача использования БСС в ОУ состоит в том, чтобы создать структуру, которая обеспечивала бы увеличение комфорта зрительного восприятия, меньше бы нуждалась в техническом обслуживании и могла бы управляться дистанционно или автоматически. И если говорить о питаемых возобновляемыми источниками энергии автономных электрических установках, то для автоматизации их работы в них необходимо использовать БСС, характеризующиеся низким энергопотреблением. В ОУ, подверженных воздействию различных неблагоприятных условий, коэффициент эксплуатации уменьшается, а энергопотребление увеличивается. Коэффициент эксплуатации ламп, коэффициент сохранения светового потока ламп, коэффициент выживаемости ламп и коэффициент эксплуатации светильника определяются совместным влиянием нескольких параметров на уменьшение светового потока источников света и ухудшение характеристик оптической системы [14–27]. В нормальных условиях БСС и автоматизация не влияют на коэффициент эксплуатации. Однако если управление освещением осуществляется в рамках программы умный город или автоматической системы управления, когда недостатки БСС сказываются и на коэффициенте эксплуатации, то имеют место дополнительное уменьшение коэффициента эксплуатации и, как следствие, увеличение энергопотребления. Другими словами, уменьшение коэффициента эксплуатации приводит к уменьшению

эффективности ОУ и увеличению расходов на освещение. (Как следует из формулы (1), при расчёте освещённости E коэффициент эксплуатации MF выступает в качестве множителя [16, 21, 26–29]):

$$E = \frac{I \cdot \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{h^2}, \quad (1)$$

где I – приведённая сила света, кд/кلم; Φ – световой поток, клм; h – высота расположения светильника относительно уровня земли, м; ε – угол между направлением падения излучаемого светильником света и нормалью к поверхности земли.)

4. Использование беспроводных сенсорных сетей в осветительных установках

БСС состоит из сенсорных узлов, распределённых по участку случайным образом или в соответствии с планом и имеющих малую пропускную способность. Одними из основных факторов, влияющих на формирование БСС, являются присущие сенсорным узлам энергетические ограничения и сложность замены аккумуляторов. Помимо необходимости обеспечивать удовлетворение требований конкретной области применения, большое значение имеет и обеспечение энергоэффективности. Энергия потребляется главным образом во время обмена данными. Прикладные разработки и исследования в области управления доступом к сети, призванные минимизировать энергопотребление при обмене данными, описаны в [1, 2, 30, 31]. Хотя целью этих работ являлось обеспечение исключительного совпадения доступа, они были направлены также и на достижение максимальной эффективности передачи данных.

Другим важным критерием построения БСС является топология сети. Топология сети описывает связи меж-

ду узлами. Базовая логическая схема построения БСС связана с осуществляемой тем или иным способом передачей данных, собранных в узлах сети, в центральный узел. В принципе, варианты связи между узлами можно разделить на две группы: односкачковые и многоскачковые (рис. 1). В случае ОУ узлами осветительной установки (*Lighting Nodes*), которые обозначаются как УОУ, являются светильники, а центральные узлы осветительной установки (*Coordinator Lighting Nodes*), которые обеспечивают управление ОУ и сбор данных, обозначаются как ЦУОУ.

В односкачковой схеме УОУ связаны с ЦУОУ непосредственно, тогда как при многоскачковой схеме ЦУОУ связан с УОУ, находящимися в его зоне покрытия, через другие расположенные в этой зоне УОУ. Поэтому по мере приближения к ЦУОУ поток данных, передаваемых УОУ, увеличивается. А так как энергопотребление пропорционально потоку данных, то оно также увеличивается. Рассматриваемые здесь УОУ не подключены к сети энергоснабжения и питаются от аккумуляторов, так что вследствие интенсивного обмена данными они быстро расходуют всю свою энергию и выпадают из сети.

В многоскачковых БСС через разные УОУ проходит разное количество данных, так что они потребляют разное количество энергии. А так как УОУ, расположенные близко к ЦУОУ, осуществляют связь с дальними УОУ, то количество проходящих через них

Рис. 1. Варианты соединения в БСС:
а – односкачковая сеть;
б – многоскачковая сеть

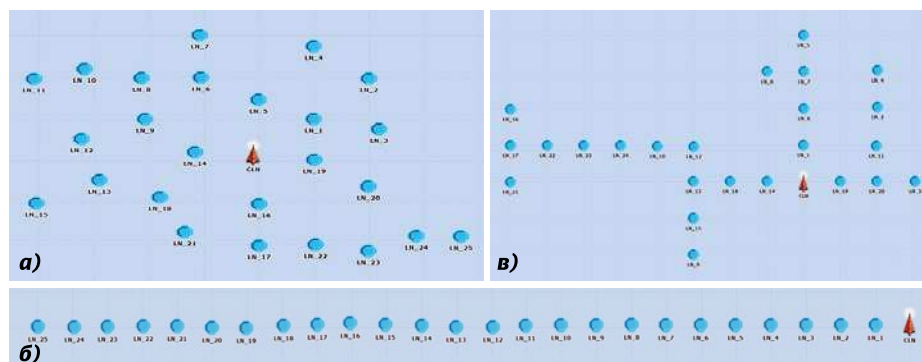
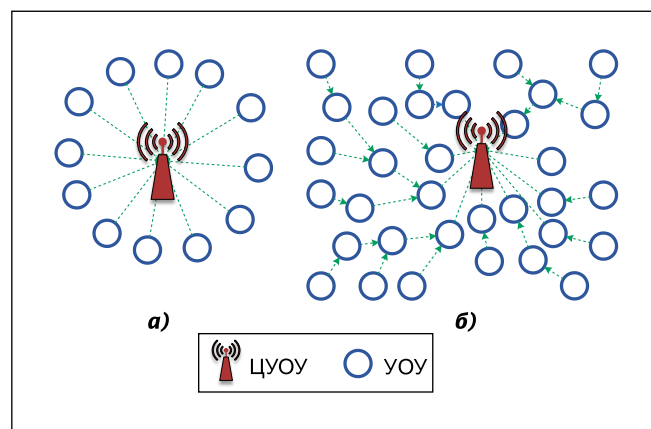


Рис. 2. Топологии ОУ: а – произвольная; б – линейная; в-древовидная (обозначения: LN = УОУ, CLN = ЦУОУ)

данных отличается от количества данных, проходящих через другие УОУ, и они потребляют больше энергии. И после того, как энергия тех УОУ, которые расположены около ЦУОУ, будет быстро израсходована, связь этих УОУ с БСС прекращается. При этом дальние УОУ, которые соединены с этим УОУ, также выпадают из сети, хотя их энергия остаётся

неизрасходованной. А это означает, что обмен данными прекращается. В подобных случаях для обеспечения оптимального использования БСС предпочтительными являются метод и топология, обеспечивающие эффективное расходование энергии.

5. Выбор оптимальной топологии

Топология БСС рассматривалась во многих публикациях [3, 4], но ни одна из них не была посвящена эффективности топологий БСС применительно к работе ОУ, что и послужило причиной написания этой статьи, в которой проведено сравнение энергии, потребляемой всеми УОУ имеющих разные топологии БСС. Для проведения анализа моделирование производилось применительно к искусственной среде. Физическая реализация БСС связана с большими расходами и затратами. Поэтому в первую очередь требуется сформировать такую модель, которая позволила бы получить результаты, близкие к реальным.

Моделирование БСС, соответствующей рассматриваемой области применения, осуществлялось в среде моделирования *Riverbed Modeler*,

Спецификация nRF905

Параметр	Значение параметра
Минимальное питающее напряжение, В	1,9
Максимальная излучаемая мощность, дБм	10
Скорость передачи данных, кбит/с	50*
Питающий ток при излучаемой мощности –10 дБм, мА	9
Питающий ток в режиме приёма, мА	12,5
Температурный диапазон, °С	От –40 до +85
Типичная чувствительность, дБм	-100
Питающий ток в режиме пониженного потребления энергии, мкА	2,5
Время переключения каналов, мкс	< 650

* В табл. 1 приведены другие данные. – Прим. пер.

Параметры моделирования для произвольной, линейной и древовидной топологий с 25, 50, 100 и 200 УОУ

Количество УОУ	Топология	Радиус покрытия УОУ, м	Количество ЦУОУ	Сетевая зона, м ²	Время, затрачиваемое на моделирование, с	Расстояние между узлами, м
25	Линейная	145	1	2500×100	300	100
	Произвольная	145	1	2000×2000	300	Переменное
	Древовидная	145	1	2000×2000	300	100
50	Линейная	145	1	5000×100	300	100
	Произвольная	145	1	2000×2000	300	Переменное
	Древовидная	145	1	2000×2000	300	100
100	Линейная	145	1	10000×100	300	100
	Произвольная	145	1	2000×2000	300	Переменное
	Древовидная	145	1	2000×2000	300	100
200	Линейная	145	1	20000×100	300	100
	Произвольная	145	1	2000×2000	300	Переменное
	Древовидная	145	1	2000×2000	300	100

Таблица 4

Энергопотребление изделий компании *Nordic*

Ширина полосы, кГц	Скорость передачи данных, кбит/с	Тип энергопотребления	Энергопотребление, Вт
100	595	Передача данных	0,0330
		Приём данных	0,0366
200	1190	Передача данных	0,0900
		Приём данных	0,0384
		Режим ожидания	0,0003
		Экономичный режим ожидания	$3,75 \cdot 10^{-5}$

представляющей собой программные средства моделирования, которые позволяют осуществлять моделирование любых сетей [32]. Анализ связанных с построением сетей проектов даёт возможность понять многие моменты, такие как анализ рабочих характеристик или проверка предпочтительности. Моделирование осуществляется на языке *ProtoC*, в основу которого положен язык программирования СИ и который предназначен для используемого программного обеспечения. *Riverbed Modeler* позволяет осуществлять моделирование дискретных событий для проведения анализа работы рассматриваемой сети [33].

Для того, чтобы при проектировании БСС обеспечить совпадение с реальностью, в качестве основы для построения УОУ были взяты приёмопередатчики *nRF905* компании *Nordic*,

которые обеспечивают возможность многоканальной связи. Технические характеристики приёмопередатчика *nRF905* приведены в табл. 2 [13].

В модели использовались узлы двух типов: ЦУОУ для центральной точки управления и УОУ для отдельных светильников. Что касается топологии ОУ, то для сельской местности использовалась произвольная топология, для установок дорожного и тоннельного освещения использовалась линейная топология, а древовидная топология использовалась применительно к разветвлённым системам уличного и дорожного освещения. Все эти топологии показаны на рис. 2.

Применительно к каждой из топологий были рассмотрены 4 варианта, которым соответствовали 25, 50, 100 и 200 УОУ. Параметры, которые использовались при моделировании этих вариантов, приведены в табл. 3.

Энергопотребление приёмопередатчиков *nRF905*, применительно к которым осуществлялось моделирование сети, приведено в табл. 4.

Одним из параметров, влияющих на энергопотребление, является размер пакета передаваемых данных, которые используются в БСС. В БСС, которые были разработаны в рамках данного исследования, использовались пакеты трёх разных типов, размеры которых приведены в табл. 5. Рабочие пакеты (*Schedule Packets*) используются для передачи информации по каналам, выделенным ЦУОУ для УОУ. Контрольные пакеты (*Control Packets*) используются УОУ для прямого подключения к сети и для обеспечения бесперебойной работы сети, тогда как релейные пакеты (*Relay Packets*) используются УОУ для подключения к сети через другие узлы.

В данном исследовании энергопотребление определяется посредством сложения энергии, потребляемой n УОУ и одним ЦУОУ в режимах ожидания, экономных режимах ожидания (*Low Sleep Power*) и режимах обмена пакетами данных. При этом незначительным энергопотреблением, связанным с другими факторами, которые могут привести к расходу энергии, пренебрегали [1, 2]. Количество энергии, требующейся узлу для получения пакета (P_R), рассчитывают по формуле (2):

$$P_R = \frac{L_{pkt}}{R_{ch}} * P_{Rx}, \quad (2)$$

где L_{pkt} – длина пакета, бит; R_{ch} – скорость передачи данных по каналу, бит/с; P_{Rx} – мощность, потребляемая приёмником, Вт.

Расчёт энергии, которая потребляется при передаче пакета данных любым из УОУ (P_T), производится по формуле [1, 2]:

$$P_T = \frac{L_{pkt}}{R_{ch}} * P_{Tx}, \quad (3)$$

где P_{Tx} – мощность, потребляемая передатчиком, Вт.

Если сеть состоит из n УОУ и одного ЦУОУ, то энергия E_T , потребляемая равным N_C ($N_C = n + 1$) количеством узлов рассчитывают по формуле [1, 2]:

$$E_T = \sum_{n=1}^{N_C} \left\{ \left(P_R * N_{Rpkt} \right) + \left(P_T * N_{Tpkt} \right) + P_{Sp} + P_{LPL} \right\}, \quad (4)$$

где N_{Rpkt} – полное количество пакетов, принятых всеми узлами; N_{Tpkt} – полное количество пакетов, переданных всеми узлами; P_{Sp} – мощность, потребляемая в режиме ожидания, Вт; P_{LPL} – мощность, потребляемая в экономном режиме ожидания, Вт

7. Результаты и обсуждение

Для осуществлявшегося в рамках данной работы моделирования БСС были выбраны равные 25, 50, 100 и 200 количества узлов и линейная, произвольная и древовидная топологии. Для всех смоделированных топологий были определены полные количества энергии, потребляемой всеми $n + 1$ узлами. На всех приведённых ниже графиках заметно, что в течение

Типы и размеры пакетов, использовавшихся в БСС

Тип пакета	Длина, бит
Рабочий пакет	Переменная
Контрольный пакет	32
Релейный пакет	52

первых секунд моделирования энергопотребление резко возрастало, так как при первом вхождении УОУ в сеть все УОУ потребляют энергию одновременно. Когда питание на УОУ подаётся впервые, они часто используют для включения в сеть и контрольные, и релейные пакеты одновременно. После включения в сеть УОУ периодически, но менее часто, посылают контрольные пакеты и пакеты данных. ЦУОУ потребляет энергию при подключении к сети каждого из УОУ.

Полная энергия, потребляемая БСС в варианте с 25 УОУ и одним ЦУОУ, показана на рис. 3, на котором видно, что полная энергия, потребляемая

смоделированными БСС с линейной, произвольной и древовидной топологиями, составляет, соответственно, 0,114; 0,0827 и 0,0743 Вт. Так что в сети, состоящей из 25 светильников, наибольшее потребление энергии, равное 0,114 Вт, наблюдается в случае линейной топологии. Минимальное потребление энергии, равное 0,0743 Вт, наблюдалось в случае древовидной топологии. В случае ОУ с 25 УОУ и одним ЦУОУ, БСС с древовидной топологией потребляет на 35 % меньше энергии, чем БСС с линейной топологией. В случае произвольной топологии потребление было на 27 % меньше, чем в случае линейной топологии.

Рис. 3. Полное потребление энергии сетью, состоящей из 25 УОУ и одного ЦУОУ

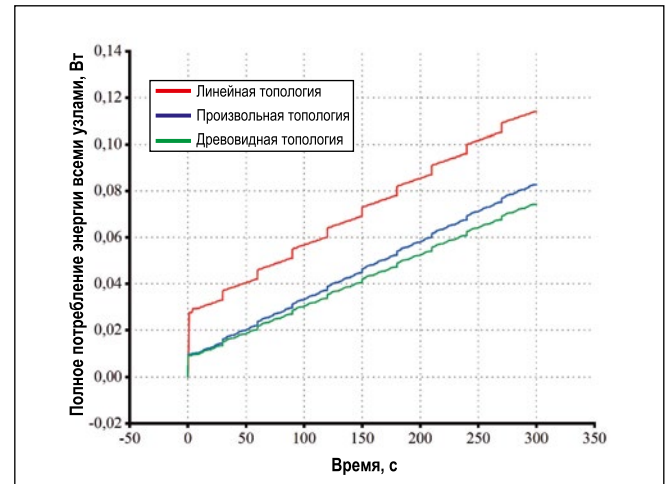


Рис. 4. Полное потребление энергии сетью, состоящей из 50 УОУ и одного ЦУОУ

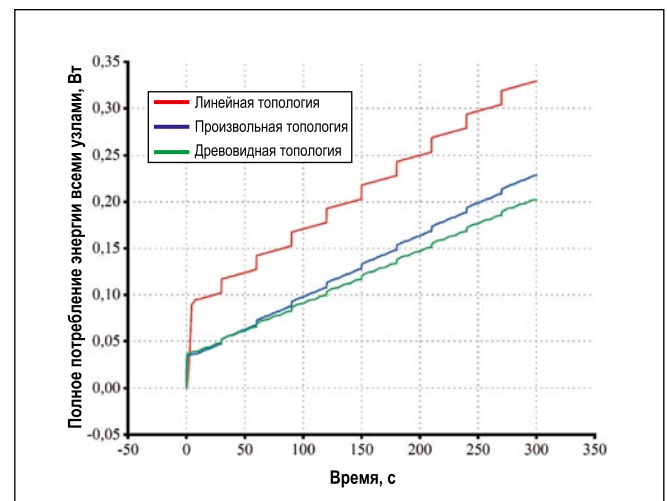


Рис. 5. Полное потребление энергии сетью, состоящей из 100 УОУ и одного ЦУОУ

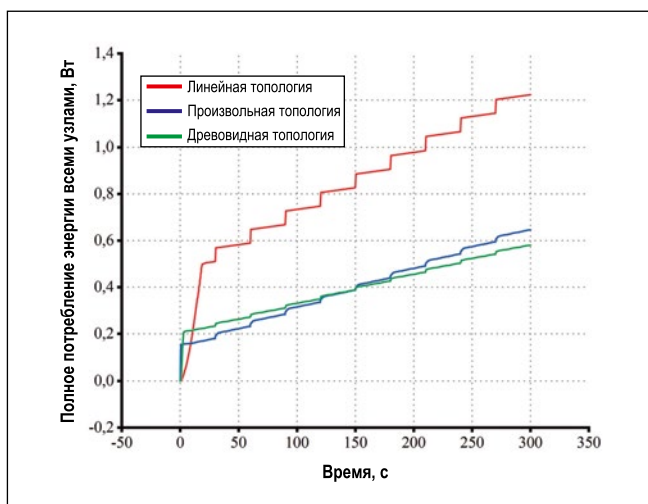


Рис. 6. Полное потребление энергии сетью, состоящей из 200 УОУ и одного ЦУОУ

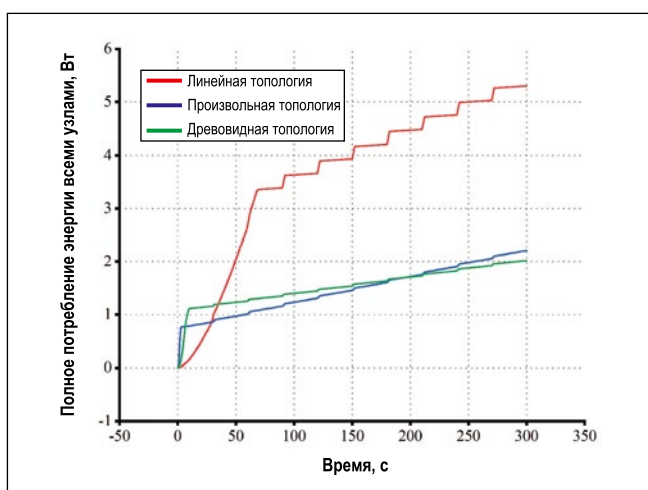
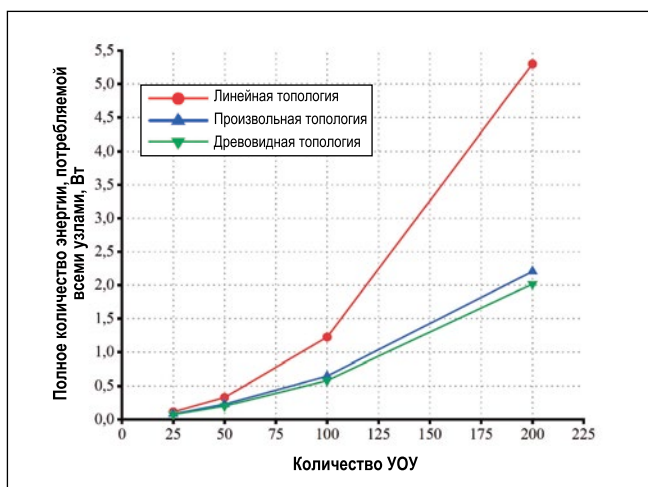


Рис. 7. Зависимость полного количества потребляемой БСС энергии от количества УОУ для линейной, произвольной и древовидной топологий



Полная энергия, потребляемая БСС в варианте с 50 УОУ и одним ЦУОУ, показана на рис. 4, на котором видно, что полная энергия, потребляемая смоделированными БСС с линейной, произвольной и древовидной топологиями, составляет, соответственно, 0,3293; 0,2287 и 0,20 Вт. Так что в сети, состоящей из 50 светильников, наибольшее потребление энергии, рав-

ное 0,3293 Вт, наблюдается в случае линейной топологии. Минимальное потребление энергии, равное 0,20 Вт, наблюдалось в случае древовидной топологии. В случае ОУ с 50 УОУ и одним ЦУОУ, БСС с древовидной топологией потребляет на 40 % меньше энергии, чем БСС с линейной топологией. По мере увеличения количества входящих в сеть светильников увели-

чивается и разность между энергией, потребляемой БСС с линейной и древовидной топологиями. И если в случае БСС с 25 УОУ и одним ЦУОУ эта разность составляла 35 %, то в случае БСС с 50 УОУ и одним ЦУОУ она оказалась равной 40 %. А это означает, что любой добавленный в ОУ светильник приводит к увеличению разности между энергией, потребляемой БСС с наиболее удачной топологией, и энергией, потребляемой имеющими другие топологии БСС.

Полная энергия, потребляемая БСС в варианте со 100 УОУ и одним ЦУОУ, показана на рис. 5, на котором видно, что полная энергия, потребляемая смоделированными БСС с линейной, произвольной и древовидной топологиями, составляет, соответственно, 1,223; 0,6458 и 0,58 Вт. Так что в сети, состоящей из 100 светильников, наибольшее потребление энергии, равное 1,223 Вт, наблюдается в случае линейной топологии. Минимальное потребление энергии, равное 0,58 Вт, наблюдалось в случае древовидной топологии. В случае ОУ со 100 УОУ и одним ЦУОУ, БСС с древовидной топологией потребляет на 53 % меньше энергии, чем БСС с линейной топологией.

Полная энергия, потребляемая БСС в варианте с 200 УОУ и одним ЦУОУ, показана на рис. 6, на котором видно, что полная энергия, потребляемая смоделированными БСС с линейной, произвольной и древовидной топологиями, составляет, соответственно, 5,301; 2,205 и 2,016 Вт. Так что в сети, состоящей из 200 светильников, наибольшее потребление энергии, равное 5,301 Вт, наблюдается в случае линейной топологии. Минимальное потребление энергии, равное 2,016 Вт, наблюдалось в случае древовидной топологии. В случае ОУ с 200 УОУ и одним ЦУОУ, БСС с древовидной топологией потребляет на 62 % меньше энергии, чем БСС с линейной топологией. Энергия, потребляемая БСС, и количества скачков приведены в табл. 6 для разных вариантов ОУ.

Энергия, потребляемая БСС с рассмотренными в данной работе топологиями, показана на рис. 7, из которого следует, что минимальное потребление энергии имеет место в случае древовидной топологии, а максимальное – в случае линейной топологии. По мере увеличения количества УОУ в сети полное энергопотребление воз-

Энергия, потребляемая БСС, для разных вариантов ОУ

Количество узлов	Топология	Энергопотребление, Вт	Сравнение топологий (наибольшее/наименьшее энергопотребление), %	Среднее количество скачков	Максимальное количество скачков
25СУ+ЦУОУ	Линейная	0,1140	-	13	25
	Произвольная	0,0827	-	1,72	3
	Древовидная	0,0743	35	1,6	4
50СУ+ЦУОУ	Линейная	0,3293	-	25,5	50
	Произвольная	0,2287	-	1,54	4
	Древовидная	0,2003	40	2,88	7
100СУ+ЦУОУ	Линейная	1,2234	-	50,5	100
	Произвольная	0,6458	-	4,19	6
	Древовидная	0,5801	53	3,49	9
200СУ+ЦУОУ	Линейная	5,3012	-	100,5	200
	Произвольная	2,2046	-	7,35	15
	Древовидная	2,0160	62	4,78	11

растает экспоненциально, причём на рисунке не заметны какие бы то ни было серьёзные различия между произвольной и древовидной топологиями. Что касается линейной топологии, то на графике видно, что по мере увеличения количества узлов наблюдается значительное увеличение энергопотребления. Очевидно, что на этот результат в первую очередь влияет среднее количество скачков. Поэтому при моделировании помимо полного потребления энергии рассматривается ещё и количество скачков, требующееся УОУ для подключения к ЦУОУ. В табл. 6 максимальные и минимальные количества скачков приведены для всех рассмотренных в процессе моделирования размеров и топологий БСС. Как следует из табл. 6, в случаях линейной и древовидной топологий с равными расстояниями между узлами и упорядоченным распределением узлов энергопотребление возрастает по мере увеличения количества скачков. С другой стороны, в случае произвольной топологии распределение узлов не является упорядоченным, и поэтому нельзя утверждать, что одновременно с увеличением количества узлов увеличивается и среднее количество скачков. Если же это увеличение происходит одновременно, то по мере увеличения количества узлов имеет место и увеличение максимального количества скачков, что и наблюдается в случае линейной топологии. Помимо собственных дан-

ных, УОУ передаёт и данные, поступающие от других УОУ, для которых он играет роль ретранслятора. Поэтому количество ретрансляций, осуществлённых УОУ, говорит о том, какое количество данных им передано. Так как в случае линейной топологии каждая ретрансляция считается скачком, то при увеличении количества скачков соответствующим образом увеличивается и количество энергии, которую УОУ расходуют на передачу данных. Например, УОУ, который подключён непосредственно к ЦУОУ, передаёт свои данные напрямую. Но если данные передаёт УОУ, подключённый к ЦУОУ через другой УОУ, то он должен передать пакет данных на этот другой УОУ, играющий для него роль ретранслятора. Если для передачи данных требуется 10 скачков, то один и тот же пакет должны передать 10 узлов, так что расход энергии возрастает в 10 раз по сравнению с энергией, требующейся для однократной передачи пакета данных.

8. Заключение

В данной работе проведена оценка энергопотребления БСС осветительных установок, имеющих разные топологии и количества узлов. Для этого применительно к питаемым возобновляемыми источниками энергии автономным ОУ с линейной, произвольной и древовидной топологиями, было проведено моделирование БСС,

позволившее определить количество энергии, потребляемой как при подключении узлов к БСС, так и при передаче данных. Согласно полученным результатам, несмотря на равное количество узлов, при изменении топологии изменяется и энергопотребление. При подключении узлов к сети потребляется большее количество энергии, так как при включении системы имеет место передача пакетов данных, включающих в себя временные, контрольные и ретрансляционные данные. По завершении установки пакетов частота передачи данных соответствующими УОУ уменьшается, вследствие чего имеет место равномерное уменьшение потребляемой энергии.

Увеличение энергопотребления при увеличении количества УОУ наиболее заметно в случае линейной топологии, так как при этой топологии количество скачков оказывается максимальным. Минимальное потребление энергии имело место в случае произвольной топологии с 25 УОУ², и в части энергопотребления эта топология очень близка к древовидной топологии. Было установлено, что количества энергии, потребляемой в случаях древовидной и произвольной топологий, очень близки друг к другу, и что эти топологии являются очень

² Согласно табл. 6, минимальное энергопотребление имеет место в случае БСС с древовидной топологией и 25 УОУ. – Прим. пер.

энергоэффективными. В то же время, линейная топология в части энергопотребления оказалась проблематичной.

Проведённые исследования показали, что при увеличении количества скачков, имеющих место в рамках разных топологий (особенно в сетях с линейной топологией), подключение к сети сопровождается значительным увеличением энергопотребления. При увеличении количества УОУ полное количество энергии, потребляемой БСС, увеличивается экспоненциально, а энергоэффективность сети уменьшается. Поэтому при подключении УОУ к сети следует использовать энергоэффективные методы (или протоколы управления доступом к сети (MAC-протоколы)). А неизбежность использования линейной топологии в случае протяжённых установок дорожного освещения только подчёркивает важность эффективных и энергоэкономичных методов подключения УОУ к сети. И этот вопрос следует рассмотреть в рамках дальнейших исследований.

И наконец, проведённое моделирование показало, что имеющие разные топологии БСС осветительных установок потребляют разное количество энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ari, D., Çibuk, M., Ağgün, F. Effect of Relay Priority Mechanism on Multi hop Wireless Sensor Networks // Bitlis Eren University Journal of Science and Technology.– 2017. – Vol. 7, No. 2. – P. 145–153.
2. Çibuk, M. Tek Atlımalı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Yeni Bir Hızlı Ağa Katılım Algoritması // Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.– 2018. – Vol. 7, No. 1. – P. 72–83.
3. Shrestha, A., Xing, L. A Performance Comparison of Different Topologies for Wireless Sensor Networks // 2007 IEEE Conf. Technol. Homel. Secur, 2007. – P. 280–285.
4. Mamun, Q. A Qualitative Comparison of Different Logical Topologies for Wireless Sensor Networks // Sensors.– 2012. – Vol. 12, No.12. – P. 14887–14913.
5. Karun, R., Johnny, M. Street Light Commander System Using Zigbee Network of Devices // Int. Journal of Engineering and Innovative Technology.– 2014. – Vol. 4, No. 4. – P. 165–169.
6. Srinath, V., Srinivas, S. Street Light Automation Controller using Zigbee Network and Sensor with Accident Alert System // Int. Journal of Current Engineering and Technology.– 2015. – Vol. 5, No. 4. – P. 2819–2823.
7. Bhargavi, R., Pavitra, B. Development of Automatic Street Light Illumination and Vehicle Speed Controlling System on Arm7 for Roadways // Int. Journal of Research in Advanced En-

gineering and Technology.– 2016. – Vol. 5, No. 3. – P. 16–22.

8. Lahoti, P., Wanare, A. Remotely Control High Energy Efficient Automatic Street Lighting System // Int. Journal of Science, Technology and Engineering.– 2015. – Vol. 1, No. 11. – P. 43–46.

9. Caponetto, R., Dongola, G., Fortuna, L., Riscica, N., Zufacchi, D. Power consumption reduction in a remote controlled street lighting system // Int Symp Power Electron Electr Drives, Autom Motion, 2008. – P. 428–433.

10. Chen, Y., Liu, Z. Distributed intelligent city street lamp monitoring and control system based on wireless communication chip nRF401 // Proc. Int. Conf. Networks Secur Wirel Commun Trust Comput, 2009, Vol. 2. – P. 278–281.

11. Lin J, Jin X, Mao Q. 2009. Wireless monitoring system of street lamps based on ZigBee // Proc. 5th Int Conf Wirel Commun Netw Mob Comput, 2009. – P. 2–4.

12. Jun, L., Cangxu, F., Xuesong, S., Aijun, Y. Street lamp control system based on power carrier wave // Proc. 2nd Int Symp Intel Inf Tech Appl Work IITA 2008. – P. 184–188.

13. Nordic Semiconductor: nRF905 Single chip 433/868/915MHz Transceiver, 2019. http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF905_PS_v1.5.pdf (02.02.2019)

14. Özkaya, M. Aydınlatma Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul-1994, 91.

15. TS EN13201–2, Road lighting – Part 2: Performance requirements (Effective date: 09.12.2016).

16. Cengiz, M.S. A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance in Tunnel Lighting // Light & Engineering.– 2019. – Vol. 27, No. 2. – P. 42–51.

17. Tetri, E., Chenani, S.B., Rasanen R.S. Advancement in Road Lighting // Light & Engineering.– 2018. – Vol. 26, No. 1. – P. 99–109.

18. Бозорг Ченани С., Рясянен Р.-С, Тетри Е. Состояние и перспективы развития дорожного освещения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 15–22.

19. Barua, P., Mazumdar, S., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S. Road Classification Based Energy Efficient Design and its Validation for Indian Roads // Light & Engineering.– 2018. – Vol. 26, No. 2. – P. 110–121.

20. Чакрабурти С., Баруа П., Бхаттачарджи С., Мазумдар С. Энергоэффективное проектирование установок дорожного освещения на основе классификации индийских дорог по освещению // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 60–67.

21. Cengiz M.S., Cengiz, C. Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor // IIUM Engineering Journal.– 2018. – Vol. 9, No. 2. – P. 154–163.

22. Iacomussi, P., Rossi, G., Soardo, P. Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting // Light & Engineering.– 2012. – Vol. 20, No. 4. – P. 55–63.

23. Росси Д., Соардо П., Якомусси П. Дорожное освещение: экономия энергии и совместимость с окружающей средой // Светотехника.– 2012.– № 2. – С. 32–39.

24. Van Bommel, W., Van Den Beld, G., Van Ooyen M. Industrial Light and Productivity // Light & Engineering.– 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 14–21.

25. Ван Боммель В., Бельд Г., Оойжен М. Промышленное освещение и производительность труда // Светотехника.– 2003.– № 1. – С. 8–12.

26. Cengiz M.S. The Relationship Between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting // Light & Engineering.– 2019 – Vol. 27, No. 3.

27. Сенгуз М.С. Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещённости в тоннеле // Светотехника.– 2019.– № 3. – С. 51–58.

28. Cengiz, M.S., Cengiz, Ç. Numeric Analysis for the Efficiency of LED and Traditional Luminaries used in Tunnel Lighting // Int. GAP Renewable Energy and Energy Efficiency Congress, 10–12 May 2018. – P. 347–348.

29. Cengiz, M.S., Cengiz, Ç., Mamiş, M.S. Contribution of Reflector Design formed by Numeric Calculations to Energy Efficiency // Int. GAP Renewable Energy and Energy Efficiency Congress, 10–12 May 2018. – P. 349–350.

30. Çibuk, M., Ari, D., Ağgün, F. Relay Mechanism with Three way Handshake for Wireless Sensor Networks // 8th Int. Advanced Technologies Symp., Elazığ, 2017.

31. Ari, D., Çibuk, M., Ağgün, F. A New Proxy Based Network Joining Method for Linear Wireless Sensor Networks // Int. Engineering and Natural Sciences Conf. (IENSC2018), Diyarbakır, 2018.

32. Riverbed Models, 2018. Available at: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>. (Access date 28-Feb.-2019).

33. Hammoodi, I.S., Stewart, B.G., Kocian, A., McMeekin, S.G. A comprehensive performance study of OPNET modeler for ZigBee wireless sensor networks // 3rd Int. Conf. Next Gener. Mob. Appl. Serv. Technol, 2009. – P. 357–362.



Муса Цибук (Musa Çibuk),

Ph.D. (2009 г.). Заведующий кафедрой вычислительной техники Университета Битлис Ерен, Турция. Область научных интересов: беспроводные сенсорные сети, компьютерные сети, цифровая связь и обработка изображений



Мехмет Сауд Сенгуз (Mehmet Saif Cengiz), Ph.D.

(2016 г.). Работает в Университете Битлис Ерен, Турция. Область научных интересов: практика освещения

Исследование систем освещения с полыми протяжёнными световодами

А.И. СТЕРХОВ¹, А.В. ПАЛАГИН¹, И.Ю. ЛОШКАРЁВ² *

¹ООО «Соларжи групп», Ижевск

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», Саратов

* E-mail: igyulo@mail.ru

Аннотация

Приведены сравнительные результаты исследования спектральных характеристик двух разных систем транспортирования света: на основе полимерной плёнки «DF2000MA» (существующей на рынке) и на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами кремния и титана (разработанной нами). Исследования вариантов «Alanod miro Silver 4270AG», «Alanod miro Silver 4400AG» и «Alanod miro Silver 4400GP» светоотражающего материала «Alanod miro Silver» показали, что по спектральному составу свет на выходе из нашей световодной системы в видимом диапазоне длин волн практически полностью идентичен естественному дневному свету на входе в неё. Показаны преимущества оптических элементов для разработанной нами световодной системы перед используемыми в сравниваемой известной системе.

Ключевые слова: световод, полый протяжённый световод, освещение, естественное освещение, спектр.

Введение

Как известно, применение осветительных систем с полыми протяжёнными световодами для естественного освещения помещений – одно из решений задачи снижения расхода электроэнергии на освещение. Нами разработана собственная осветительная система этого типа с зеркально отражающим материалом на основе осаждённого в вакууме серебра, и цель настоящей работы – сравнить её с известным рыночным аналогом с зеркальным материалом на основе полимерной плёнки «DF2000MA» по точности передачи спектрального состава, по интегральному коэффициенту пропускания как системы в целом, так и составляющих оптических эле-

ментов, а также по технологии выполнения зеркального тубуса, сроку службы системы и др.

Объекты исследования

Объектами исследования являлись модели осветительной системы со световодом на основе плёнки «DF2000MA» и разработанной нами системы «Solarway» – со световодом с зеркальным тубусом на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами кремния и титана (рис. 1).

Элементы системы «Solarway»:

- Светоулавливающий купол: прозрачный акриловый лист с мелкой текстурой («Acryl 92-Z»); из ПММА «Plexiglass» (способом вакуумного формования).
- Термобарьер: из акрилового листа толщиной 4 мм.
- Зеркальный тубус: на основе осаждённого в вакууме серебра, покры-

того оксидом кремния SiO_2 , с низким показателем преломления, и оксидом титана TiO_2 , с высоким показателем преломления.

- Светорассеиватель: прозрачный акриловый лист с крупной текстурой («Acryl 92-W»); из ПММА «Plexiglass XT 0A000 Z» (с помощью трафаретной лазерной резки).

Методика оценки спектрального состава света

Измерения проводились: 1) 01.10.2014 на широте Москвы в 14:00–14:15 по московскому времени, при направлении на юго-восток, угле к горизонту 60° , средней освещённости 5300–5500 лк и облачности около 8 баллов, в диапазоне λ 360–760 нм; 2) стандартизованным поверенным мобильным спектрометром МК 350 (компания UPRtek, Тайвань). Измерялись: относительный спектр излучения, коррелированная цветовая температура $T_{кц}$ и общий индекс цветопередачи R_a на входе и выходе системы. Для каждого объекта исследования производились 5-кратные измерения.

Измерения проводились для 3-х вариантов материала светопроводящей трубы системы «Solarway»: «Alanod miro Silver 4270AG»; «Alanod miro Silver 4400GP» и «Alanod miro Silver 4400AG».

Рис. 1. Схематический вид разработанной системы естественного освещения «Solarway»

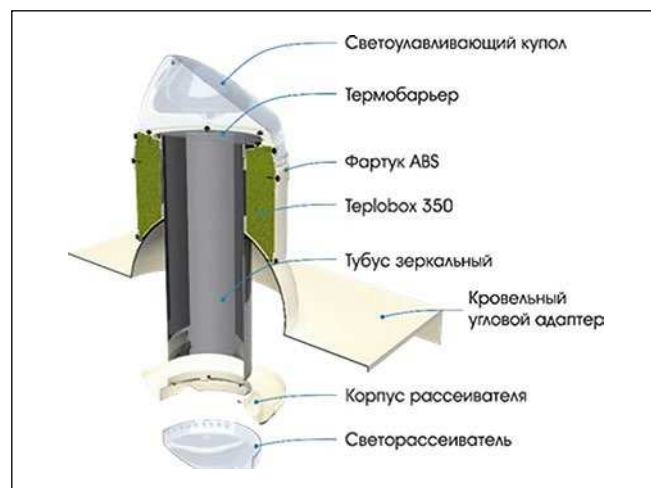


Рис. 2. Макеты системы «Solarway»



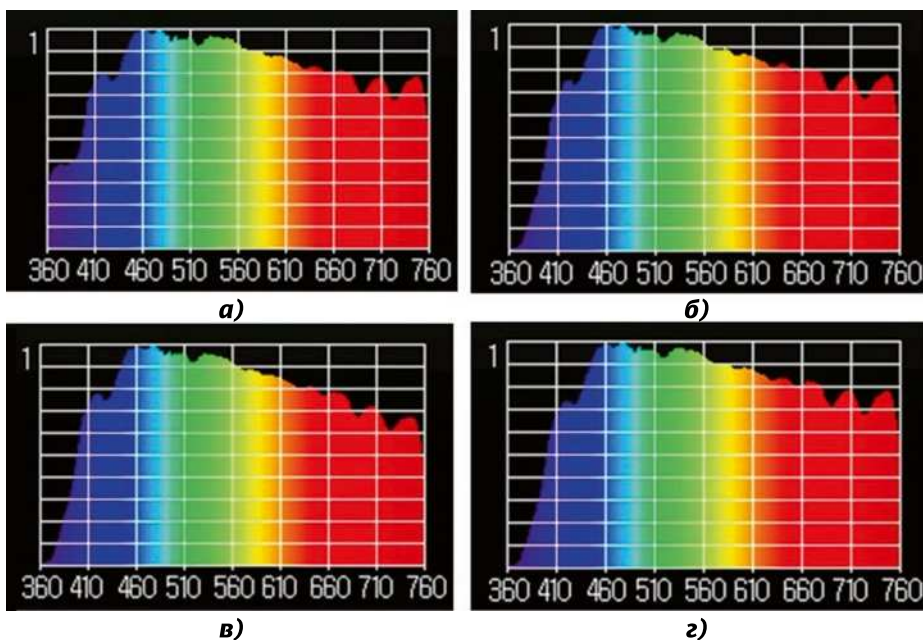
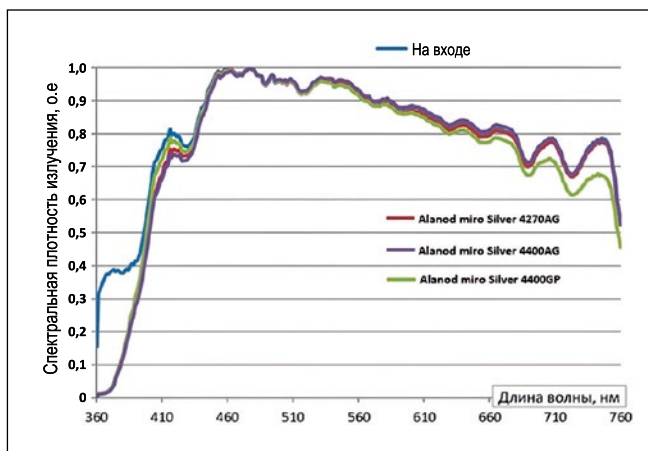


Рис. 3. Относительное спектральное распределение энергии излучения (на момент измерений):

а – естественного дневного на момент измерений, $T_{кц} = 5850$ К, $R_a = 99$; б – на выходе из системы со светоотражающим материалом «Alanod miro Silver 4270AG»; $T_{кц} = 5850$ К, $R_a = 99$; в – на выходе из системы со светоотражающим материалом «Alanod miro Silver 4400GP», $T_{кц} = 5900$ К, $R_a = 99$; з – на выходе из системы со светоотражающим материалом «Alanod miro Silver 4400AG», $T_{кц} = 5750$ К, $R_a = 99$

Рис. 4. Графики относительного спектрального распределения энергии дневного излучения на входе и на выходе из системы «Solarway» с вариантами «Alanod miro Silver 4270AG», «Alanod miro Silver 4400GP» и «Alanod miro Silver 4400AG» светоотражающего материала



Макеты светопроводящей трубы имеют следующие размеры: длина – 200 мм и диаметр – 90 мм (рис. 2).

Измеренные $T_{кц}$ естественного уличного излучения колебались в пределах 5750–5900 К, а $T_{кц}$ на выходе из трубы с «Alanod miro Silver 4270AG», «Alanod miro Silver 4400AG» и «Alanod miro Silver 4400GP» составили 5850, 5750 и 5900 К соответственно.

Исследование началось с измерения относительного спектра естественного дневного излучения и продолжилось для трёх вариантов материала зеркального тубуса световода на выходе. Результаты этой части исследования приведены на рис. 3 и в табл. 1.

Согласно табл. 1 и рис. 4, относительный спектр излучения на выходе из световодных систем практически тот же, что и на входе в них.

Из рис. 4 видно, что в диапазоне λ 435–760 нм относительные спектры излучения систем со световодом с «Alanod miro Silver 4270AG» и «Alanod miro Silver 4400AG» полностью идентичны относительному спектру излучения (естественного) на входе в них, а вот относительный спектр излучения системы с «Alanod miro Silver 4400GP» несколько беднее на правом краю этого диапазона.

В диапазоне λ 360–410 нм все эти три варианта отражающего материала дают спектральные отклонения от

естественного дневного излучения из-за того, что в акриловые материалы включены УФ абсорбирующие фотостабилизаторы, защищающие акриловый полимер от разрушающего действия УФ излучения. Эти спектральные отличия не являются значимым недостатком, т.к. человеческий глаз мало чувствителен в этом диапазоне λ . Последнее подтверждается и тем, что, по нашим измерениям, все три варианта дают на выходе из системы практически максимально возможный R_a , приходящий дневному освещению: 99¹.

Интегральный коэффициент отражения всех трёх вариантов зеркального материала системы «Solarway» находится на уровне или выше, чем у микроструктурной полимерной плёнки сравниваемой световодной системы (табл. 2).

Коснёмся различий технологий получения этих отражающих материалов:

- Зеркальная микроструктурная полимерная плёнка получается путём осаждения на её основу испарённого серебра и других металлов, закрепляемых интерференционным слоем. Плёнка крепится на алюминиевую подложку с помощью клея. Применение зеркальной плёнки «DF2000MA» в качестве отражающего материала систем транспортирования света [4] сопряжено с относительным риском и с особыми условиями при эксплуатации: она не должна использоваться в качестве отражателя с источниками излучения без УФ поглощающего фильтра [4]; её температура при эксплуатации должна составлять 22–49 °С; при использовании интенсивных источников излучения вроде светодиодов должна предусматриваться защитная конструкция, минимизирующая энергетическую экспозицию и нагрев плёнки. (Такие источники излучения могут вызывать изменение и потемнение её поверхности.) Исходные модели показали, что первые изменения цвета поверхности наступают после энергетической экспозиции 50 кДж/мм² в диапазоне λ 420–500 нм при температуре плёнки 50 °С.

¹ При необходимости эти различия между естественным излучением и излучением на выходе из световодных систем можно немного снижать, изготавливая нижний светорассеиватель, который не нуждается в УФ защите, из акрила без УФ абсорбирующих добавок.

Относительное спектральное распределение энергии естественного излучения на входе
и выходе из световодных систем, о.е.

λ , нм	На входе	Световод из «Alanod miro Silver 4270AG»	Световод из «Alanod miro Silver 4400GP»	Световод из «Alanod miro Silver 4400AG»
385	0,39	0,21	0,23	0,21
390	0,41	0,29	0,31	0,28
400	0,60	0,51	0,56	0,50
410	0,75	0,68	0,72	0,66
420	0,79	0,75	0,77	0,73
430	0,76	0,74	0,75	0,73
440	0,88	0,86	0,86	0,85
450	0,97	0,97	0,96	0,95
460	0,99	0,99	0,99	0,98
470	0,98	0,98	0,98	0,98
480	0,99	0,99	0,99	0,99
490	0,95	0,95	0,95	0,96
500	0,96	0,96	0,96	0,96
510	0,95	0,95	0,95	0,93
520	0,92	0,92	0,92	0,93
530	0,96	0,96	0,96	0,97
540	0,96	0,96	0,95	0,97
550	0,96	0,95	0,94	0,96
560	0,92	0,92	0,91	0,93
570	0,90	0,89	0,89	0,90
580	0,90	0,89	0,89	0,90
590	0,87	0,87	0,86	0,88
600	0,87	0,87	0,86	0,88
610	0,86	0,86	0,85	0,87
620	0,83	0,83	0,82	0,85
630	0,81	0,81	0,80	0,83
640	0,83	0,83	0,81	0,84
650	0,80	0,80	0,78	0,81
660	0,80	0,79	0,77	0,81
670	0,81	0,80	0,78	0,82
680	0,78	0,78	0,75	0,79
690	0,70	0,70	0,67	0,71
700	0,76	0,76	0,71	0,77
710	0,78	0,77	0,71	0,78
720	0,68	0,68	0,62	0,69
730	0,71	0,70	0,63	0,71
740	0,77	0,76	0,67	0,77
750	0,77	0,76	0,66	0,77

Рис. 5. Вид световодов двух сравниваемых систем (вариант 2013 г.)



Рис. 6. Вид зеркального тубуса световода на основе полимерной плёнки «DF2000MA» после определённого срока эксплуатации без УФ поглощающего фильтра



• Зеркальный материал «*MiroSilver*» получается путём осаждения испарённого серебра на алюминиевую подложку и закрепления его оксидами SiO_2 и TiO_2 . При этом никакого клея уже не используется.

Материал плёнки, в отличие от осаждённого серебра, иногда бывает совсем не пригоден из-за отслаивания плёнки, снижающего характеристики передачи естественного уличного света.

Ещё одна задача исследования состояла в изучении воздействия УФ излучения на элементы системы «*Solarway*».

В 2016 г. проводилось техническое обслуживание световодов (4 года после установки). В одном из них использовался зеркальный плёночный материал «*DF2000MA*», а в другом – материал на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами SiO_2 и TiO_2 (рис. 5). Купола для обеих систем были выполнены из ПММА без защиты от УФ излучения. Через 4 года зеркальный материал «*DF2000MA*» полностью пожелтел (рис. 6). Но даже пожелтевший материал отражает практически полный спектр света с искажениями в жёлтом, красном или зелёном участках диапазона λ , но эти искажения для человеческого глаза практически незаметны.

Для изготовления купола для световодов применяется ПММА. Данный материал отсекает большую часть входящего УФ излучения (не менее

72,5 %), однако даже незначительная пропущенная его часть приводит к пожелтению отражающего материала. Для дополнительного блокирования этого излучения в некоторых системах используется антиконденсационный диск (термобарьер), также из ПММА.

Приземное УФ излучение (в основном лежащее в диапазоне λ 300–400 нм), попадающее в световод с отражающими материалами «*Alanod miro Silver 4400AG*», «*Alanod miro Silver 4270AG*» или «*Alanod miro Silver 4400GP*», их серебряному покрытию не вредит, т.к. почти полностью отражается от него.

Далее были проведены сравнительные исследования оптических элементов разработанной нами световодной системы «*Solarway*» (модель «*Solargy SW 250*», диаметр световода 250 мм) и существующей на рынке световодной системы на основе полимерной плёнки «*DF2000MA*» (модель «*Solatube 290DS*», диаметр световода 350 мм)². Соответствующие измерения проводились люксметром *DT-1309*, с диапазоном измерения ($1 \cdot 10^{-1}$ – $4 \cdot 10^5$) лк, 27 февраля 2017 г. под открытым пасмурным небом с переменной облачностью 8–10 баллов.

О КПД световодной системы можно судить по общему коэффициенту пропускания света τ_0 , который рас-

считывается по методике для расчётов КЕО при боковой системе освещения с разными схемами расположения зданий в условиях застройки, а также в помещениях с верхней (через фонари разной конструкции) и комбинированной (верхней и боковой) системами естественного освещения [11]:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5,$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала (системы), определяемый по [11, табл. Б.7]; τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплётах светопроёма, определяемый также по [11, табл. Б.7] (размеры светопроёма принимаются равными размерам коробки переплёта по наружному обмеру); τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях, определяемый по [11, табл. 8] (при боковом освещении $\tau_3 = 1$); τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, определяемый в соответствии с [11, табл. Б.8]; τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9 [11].

Из табл. 3 видно, что заявленные значения τ_0 без учёта зеркального тубуса для сравниваемых моделей «*Solargy SW 250*» и «*Solatube 290 DS*» – 67 и 58 % соответственно.

Из табл. 4 следует, что общие оптические потери в элементах «*Solatube 290 DS*» составляют 45 %, а – «*Solargy SW*» – 23 %. Таким образом, основные потери в «*Solatube 290 DS*» приходятся на её оптические элементы и. Из этого можно сделать однозначный вывод: уровень светопередачи оптических элементов разработанной системы в 1,4 раза выше, чем у сравниваемой системы «*Solatube*».

Заключение

Проведены сравнительные исследования световодных систем освещения на основе полимерной плёнки «*DF2000MA*» и на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами кремния и титана. Спектральные измерения показали небольшое преимущество разработанной системы «*Solarway*» по интегральной отражательной способности отражающего материала зеркального тубуса. Исследования системы «*Solarway*»

² Длина и диаметр световодов значения не имеют, т.к. измерения проводились без зеркального тубуса.

Сравнительные характеристики зеркального материала систем освещения со световодами

Параметры	Технология на основе полимерной плёнки «DF2000MA», нанесённой с помощью ламинирования («Solatube»)	Технология на основе полимерной плёнки «DF2000MA», нанесённой с помощью ламинирования («Solarspot»)	Технология на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами кремния и титана («Solarway»)
Интегральный коэффициент отражения зеркального материала	99,7 %	99,7 %	«Alanod miro Silver 4270AG» → 99,8 % «Alanod miro Silver 4400AG» → 99,8 % «Alanod miro Silver 4400GP» → 99,8 %

Сравнительные (заявленные производителем) характеристики оптических элементов систем освещения со световодами (без зеркального тубуса)

Характеристики	Технология на основе полимерной плёнки «DF2000MA» («Solatube 290 DS»)	Технология на основе осаждённого в вакууме серебра, покрытого оксидами кремния и титана («Solargy SW 250»)
Технология выполнения светособирающего устройства и защитного купола Коэффициент светопропускания τ_1	ПК или ПММА, методом литья, «Plexiglass» (ФРГ) 0,83 [6] или 0,92	ПММА, методом вакуумного формования, «Plexiglass» (ФРГ) 0,92
Светорассеиватель Коэффициент светопропускания τ_4	«Dual Diffuseur Optiview»® «Dual Diffuseur Vision»® 0,82 или 0,79	ПММА, графетная лазерная резка «Plexiglass XT 0A000Z» (ФРГ), 0,90
Общий коэффициент пропускания света τ_0 ($\tau_2 = 0,9$, $\tau_4 = 0,9$, $\tau_5 = 1,0$ при $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5$)	0,55 или 0,58	0,67
Факторы	Высокая ударопрочность Интегральный коэффициент пропускания УФ излучения 72,5 %	Высокая ударопрочность Интегральный коэффициент пропускания УФ излучения 72,5 %

Сравнение освещённостей (лк) на выходе из элементов световодов (без зеркального тубуса) систем «Solargy SW» и «Solatube 290 DS»

Наименование элемента системы	«Solatube 290 DS»			«Solargy SW 250»		
	Без элемента	С элементом	Интегральный коэффициент пропускания элемента(ов)	Без элемента	С элементом	Интегральный коэффициент пропускания элемента(ов)
Купол	23750	15675	0,66	24235	23265	0,96
Термобарьер	нет	нет	-	23563	21910	0,93
Рассеиватель	24255	20130	0,82	23900	21271	0,89
Все элементы одновременно и последовательно друг над другом	21455	11753	0,55	21205	16498	0,77

проводились для трёх вариантов отражающего материала «*Alanod miro Silver*». Спектральный состав выходящего из системы «*Solarway*» света в диапазоне λ 410–760 нм для двух из них, «*Alanod miro Silver 4270AG*» и «*Alanod miro Silver 4400AG*», полностью идентичен естественному дневному свету на входе в систему, а для третьего, «*Alanod miro Silver 4400GP*», близок к нему, незначительно проигрывая в дальнем красном диапазоне λ (660–760 нм). В фиолетовом диапазоне λ (385–410 нм) все эти варианты «*Alanod miro Silver*» дают малозначимые оптические потери.

В целом, согласно измерениям, зеркальный тубус с материалом «*Alanod miro Silver*» передаёт практически полностью и без спектральных искажений естественный дневной свет (в диапазоне λ 385–750 нм).

Зеркальный материал разработанной системы «*Solarway*» показал преимущество по сроку службы (без защиты от УФ излучения) перед плёночным материалом «*DF2000MA*» – 25 против 10 лет. Кроме того, в отличие от мультиполимерной плёнки он надёжен в эксплуатации (не расслаивается и не отслаивается) в северных климатических зонах РФ.

Сравнение некоторых светотехнических характеристик оптических элементов разработанной системы («*Solarway*») и существующей на рынке («*Solatube*») показало значительное преимущество первых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: <http://www.solarway.su/> (дата обращения: 26.04.2019).
2. Палагин А.В., Стерхов А.И., Корепанов Е.В. Сравнение систем естественного освещения зданий по функционально-энергетическим факторам // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (24). – С. 191–194.
3. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды и их применение для естественного освещения зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 2. – С. 53–55.
4. URL: <https://multimedia.3m.com/mws/media/9824490/3mtm-specular-film-df-2000ma-technical-data-sheet.pdf> (дата обращения: 26.04.2019).
5. URL: http://www.napcs.o.hu/my_content/dok/CSTB_Report_2011.pdf (дата обращения: 26.04.2019).

6. URL: <http://www.cstb.fr/pdf/atec/GS06-G/AG142204.pdf> (дата обращения: 26.04.2019).

7. URL: <http://www.bibliorossica.com/book.html?currBookId=10063> (дата обращения: 26.04.2019).

8. URL: <https://solarspot.co.uk/wp-content/uploads/2018/01/BRE-Testing-of-light-tubes.pdf> (дата обращения: 26.04.2019).

9. URL: http://www.casaportale.com/public/uploads/relazione_ebner.pdf (дата обращения: 26.04.2019).

10. URL: http://www.geinnovations.net/solarspotnews_court.html (дата обращения: 26.04.2019).

11. СП 23–102–2003 «Свод правил по проектированию и строительству. Естественное освещение жилых и общественных зданий».



Стерхов Алексей Иванович, инженер. Окончил в 2009 г. Ижевский ГТУ. Технический директор ООО «Соларджи групп». Область научных интересов: освещение, энергосбережение, световоды



Палагин Александр Вадимович, инженер. Окончил в 2009 г. Ижевский ГТУ. Главный научный сотрудник ООО «Соларджи групп». Область научных интересов: освещение, энергосбережение, световоды



Лоскарёв Игорь Юрьевич, кандидат техн. наук. Окончил в 1993 г. Саратовский орден «Знак Почёта» институт механики сельского хозяйства им. М.И. Калинина. Доцент кафедры «Инженерная физика, электрооборудование и электротехнологии» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова». Область научных интересов: освещение, энергосбережение, световоды

Найден способ производить дешёвые ИК линзы

Учёные из США, Республики Корея и Италии определили и разработали новый метод получения полимеров, которые могут использоваться в качестве линз для ИК излучения.

Впервые оранжевые пластиковые линзы для ИК излучения были созданы пять лет назад, но тогда они оказались неприменимы для каких-либо практических целей. Затем команда учёных усовершенствовала этот полимерный материал на основе серы и смогла найти ему применение в создании линз, объективов и окон для приборов, регистрирующих ИК излучение. «Технология ИК-визуализации уже широко используется для военных целей, таких как ночное видение и ракеты с тепловым наведением, – рассказывает профессор кафедры химии и биохимии Университета Аризоны Д. Пьюн, который возглавляет лабораторию, разработавшую полимер. – Но для потребителей и транспортного сектора себестоимость ограничивает масштабирование производства таких изделий».

Новый способ получения этого материала, о котором учёные рассказывают в своей работе, может сделать ИК стекла и линзы дешевле и расширить спектр их применений. Новое поколение полимеров более прочное и термостойкое, чем соединения, созданные 5 лет назад. Тогда они изготавливались с использованием германия – дорогого, тяжёлого, редкого и токсичного металла.

Теперь же ИК прозрачные материалы состоят из молекул полимера с внедрёнными в него атомами серы. Благодаря дисульфидным связям такие полимеры и приобретают отличительные оптические свойства. Но, с другой стороны, они уменьшают прочность и термостойкость материала. Кроме того, включение дополнительных органических молекул для придания материалу прочности привело к снижению прозрачности, поскольку почти все органические молекулы поглощают в ИК диапазоне.

В новой работе исследователи нашли способ это исправить. Они создали компьютерную модель, чтобы найти органические молекулы, которые бы повышали прочность и термостойкость полимера, но не поглощали в ИК диапазоне. Так как количество органических соединений исчисляется десятками миллионов, перебрать их все вручную не представляется возможным. Новая компьютерная модель нашла несколько кандидатов, которые были успешно испытаны в лаборатории. Одним из них оказалась сложная молекула на основе карбасной структуры, называемой *норборнадиеном*.

Главная особенность новых материалов заключается в том, что их можно производить при более низких температурах, чем стекла на основе германия, поэтому процесс их получения оказывается существенно дешевле.

Статья учёных опубликована в журнале «*Angewandte Chemie*».

nanonewsnet.ru/
01.11.2019

Сравнение устройств управления светодиодами на основе преобразователей постоянного тока SEPIC, Чука и обратноходовых¹

Э. ШЕХИРЛИ

Университет Кастамону, Кастамону, Турция
E-mail: esehirli@kastamonu.edu.tr

Аннотация

Проведено сравнение схем устройств управления для светодиодов (СД), включающих в себя преобразователи постоянного тока с несимметрично нагруженной первичной индуктивностью (SEPIC), преобразователи Чука и обратноходовые преобразователи. Все схемы рассчитаны на мощность 8 Вт и работают в режиме прерывистых токов (DCM) с частотой переключения 88 кГц. Кроме того, намотка индуктивностей преобразователей SEPIC и Чука делает их индуктивно-связанными. Эти преобразователи реализуются с использованием микросхемы SG3524 в схемах без обратной связи и микроконтроллера PIC16F877 в схемах с обратной связью. Кроме того, для ограничения максимального тока СД в схемах с обратной связью используется датчик тока ACS712. Устройства управления для СД на основе преобразователей SEPIC, Чука и обратноходовых сравниваются по току СД, напряжению на СД, входному напряжению и входному току. Приведены преимущества и недостатки всех схем.

Ключевые слова: преобразователь Чука, обратноходовой преобразова-

тель, устройство управления для СД, преобразователь SEPIC.

1. Введение

Использование мощных светодиодов (СД) в освещении в последнее время стало очень популярным из-за их высокой эффективности по сравнению с другими источниками света, такими как люминесцентные лампы, лампы накаливания и металлогалогенные лампы. Но для питания имеющих разные световые потоки мощных СД требуется различная мощность постоянного тока. Эта мощность может подаваться с помощью преобразователей постоянного тока в постоянный (далее – преобразователь), основными из которых являются понижающие, повышающие и комбинированные преобразователи. В комбинированном преобразователе выходное напряжение может быть как ниже, так и выше входного напряжения. Таким образом, использование комбинированного преобразователя в качестве устройства управления (УУ) для СД более привлекательно. Преобразователи постоянного тока SEPIC, Чука (Cuk converter)² и обратноходовые яв-

² В отечественной литературе этот преобразователь иногда называют преобразователем Кука. – Прим. ред.

ляются комбинированными, и при малой мощности эти преобразователи лучше использовать в режиме прерывистых токов (DCM).

В литературе приведены результаты некоторых исследований по этой теме.

Проектированию и анализу преобразователей постоянного тока SEPIC, Чука и обратноходовых посвящены работы [1–8]. В [9–10] представлены УУ на основе преобразователя Чука. УУ на основе преобразователя SEPIC приведены в [11–12] для дорожных транспортных средств и общего применения. В [13–16] предлагаются имеющие один или несколько выходов УУ для СД на основе обратноходового преобразователя постоянного тока. Преобразователи переменного тока в постоянный и постоянного тока в постоянный, представляющие собой понижающие, повышающие, комбинированные и полумостовые преобразователи, рассматриваются в качестве УУ для СД в [17]. В [18] проводится сравнение УУ для СД на основе комбинированных преобразователей постоянного тока, и преобразователей SEPIC и Чука. Ещё одно сравнение проведено в [19] применительно к УУ для СД на основе понижающего и обратноходового преобразователей.

В этой статье проведено сравнение УУ для СД на основе преобразователей SEPIC, Чука и обратноходового. Все схемы подключены к источнику постоянного тока через входной фильтр и рассчитаны на мощность 8 Вт и частоту переключения 88 кГц. В схемах без обратной связи используется микросхема SG3524, а в схемах с обратной связью – микроконтроллер PIC16F877 и датчик тока ACS712, обеспечивающий невозможность превышения максимально допустимого тока. Кроме того, для всех схем измеряются напряжение на СД, ток СД, напряжение на расположенной на входе катушке индуктивности и ток через неё, а также входные напряжение и ток.

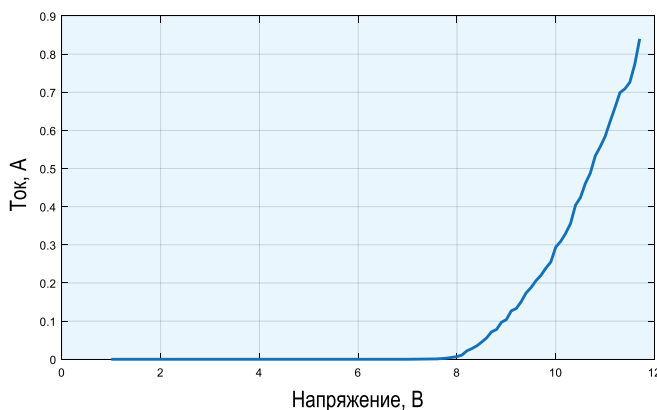
2. Мощные светодиоды

В этом разделе вольтамперные характеристики и модель электрических цепей мощных СД, которые используются в данной работе, как и в [20–23] получены с помощью мультиметров Fluke 15B и Fluke 17B.

На рис. 1 показана вольтамперная характеристика мощного СД, которая

¹ Перевод с англ. А.Г. Савицкой

Рис. 1. Вольтамперная характеристика мощного СД



была получена посредством увеличения напряжения на СД и построения зависимости тока от напряжения. Из рисунка следует, что ток экспоненциально зависит от напряжения и чрезвычайно быстро возрастает после включения СД. Кроме того, напряжение на СД не сильно изменяется в промежутке времени между включением СД и достижением током значения 0,8 А [20–23].

На основе рис. 1 была построена модель электрической цепи мощного СД, которая приведена на рис. 2. В этой модели предполагается, что, как и в [20–23], пороговое напряжение и сопротивление мощных СД составляют 7,6 В и 4,88 Ом соответственно.

3. УУ для СД

В этом разделе описаны УУ для СД, в которых используются преобразователи SEPIC, Чука и обратноходовые. Все УУ подключены к источнику постоянного тока через входной фильтр. Все эти схемы могут работать, как комбинированные преобразователи, а это означает, что выходное напряжение может быть как ниже, так и выше входного. Кроме того, входной фильтр используется для получения постоянного тока с низким уровнем шума, что обеспечивается благодаря работе в режиме DCM и высокочастотного переключения. В преобразователях SEPIC и Чука катушки индуктивности могут быть намотаны как сдвоенные, а в обратноходовом преобразователе использует высокочастотный трансформатор, который работает как катушка индуктивности.

3.1. Преобразователь SEPIC

На рис. 3 показан преобразователь SEPIC, который подключён к источнику постоянного тока с помощью входного фильтра, и этот преобразователь имеет две катушки индуктивности, которые намотаны как сдвоенные, а также два конденсатора. Кроме того, выходное напряжение имеет ту же полярность, что и входное напряжение.

На рис. 4 приведена схема преобразователя SEPIC во включённом и выключенном состояниях. Чтобы понять работу преобразователя SEPIC и выбор пассивных элементов, необходимо проанализировать преобразователь во включённом и выключенном состояниях. Когда контакты S замкнуты, на

L_1 подаётся напряжение от источника питания, а на L_2 подаётся питание от C_1 , в то время как C_2 питает нагрузку. Когда контакты S разомкнуты, C_1 заряжается от источника питания и L_1 , а токи, протекающие через L_1 и L_2 , протекают через D и нагрузку, и при этом заряжается C_2 [2, 3].

Преобразователь SEPIC может подавать на нагрузку напряжение, более низкое или более высокое, чем входное напряжение, и при этом выходное напряжение имеет ту же полярность, что и входное. Как и в [2, 3], пассивные элементы преобразователя SEPIC могут быть выбраны при помощи уравнений (1) – (3):

$$L_{1max} = L_{2max} = D \cdot V_{in} / (\Delta I_L \cdot f_{sw}), \quad (1)$$

$$C_2 \geq I_{out} \cdot D / (V_{ripple} \cdot f_{sw}), \quad (2)$$

$$C_2 \geq I_{out} \cdot D / (\Delta V_{C1} \cdot f_{sw}), \quad (3)$$

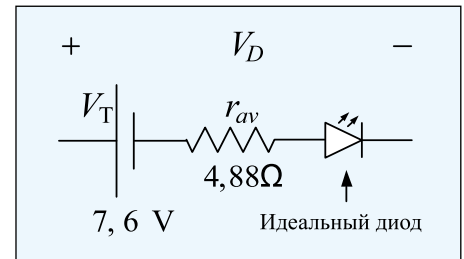


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема мощного СД

где L_{1max} и L_{2max} – максимальные значения индуктивности для работы в режиме DCM, D – коэффициент заполнения, V_{in} – входное напряжение, f_{sw} – частота переключения, ΔI_L – пульсация тока катушки индуктивности, ΔV_{C1} – пульсация напряжения на C_1 , I_{out} (I_{Led}) – выходной ток (ток, протекающий через СД), V_{ripple} – пульсация напряжения на C_2 .

Рис. 3. Преобразователь постоянного тока SEPIC

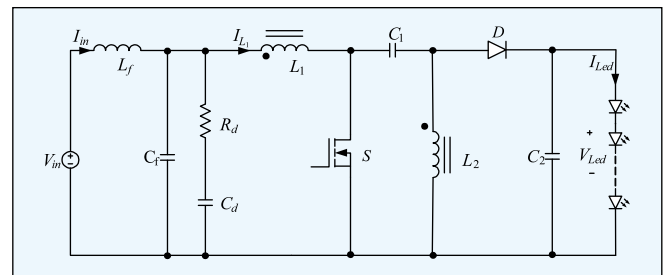


Рис. 4. Состояния преобразователя SEPIC: а – включён; б – выключен

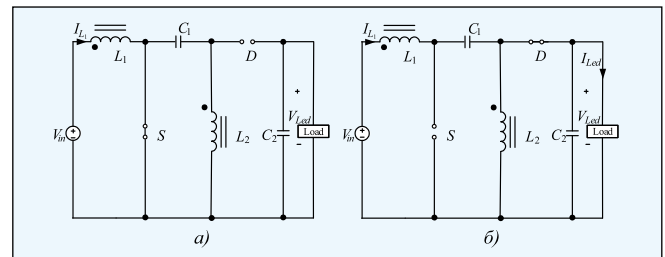


Рис. 5. Преобразователь постоянного тока Чука

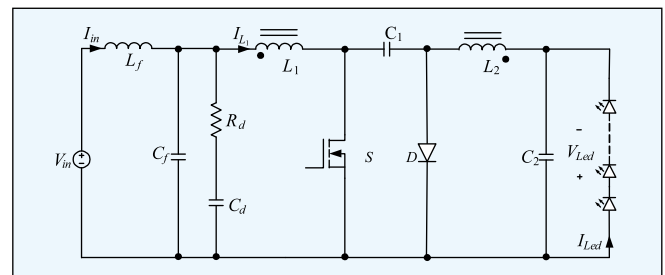


Рис. 6. Состояния преобразователя Чука: а – включён; б – выключен

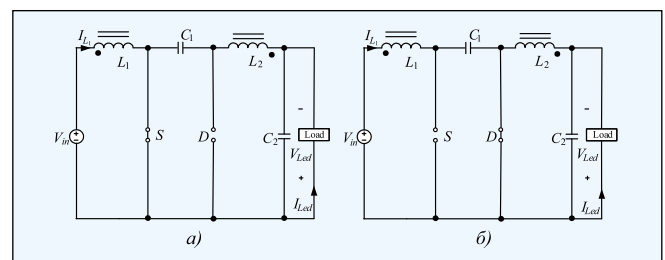


Рис. 7. Обратногоходовой преобразователь постоянного тока

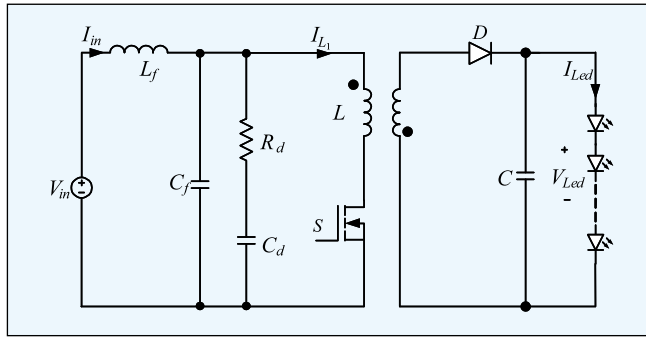


Рис. 8. Состояния обратногоходовой преобразователя:
а – включён;
б – выключен

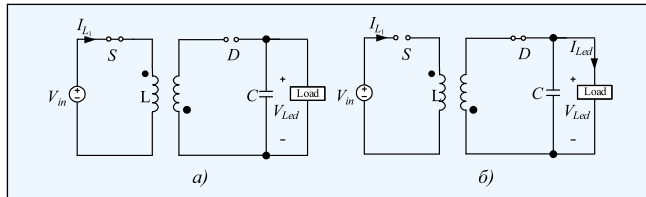
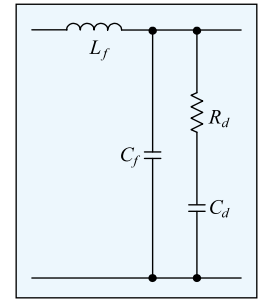


Рис. 9. Демпфирующий LC-фильтр



3.2. Преобразователь Чука

На рис. 5 приведена схема преобразователя Чука, который также имеет две катушки индуктивности и два конденсатора. Кроме того, катушки индуктивности в преобразователе Чука также намотаны как сдвоенные, то есть расположены на общем сердечнике.

Схема преобразователя Чука во включённом и выключенном состоянии показана на рис. 6. Когда контакты S замкнуты, L_1 запитывается от источника питания, а C_1 разряжается через C_2 , нагрузку и L_2 . Когда контакты S разомкнуты, C_1 заряжается источником питания через L_1 , а ток протекает также через L_2 , D , нагрузку и C_2 [1, 8].

Преобразователь Чука также может подавать на нагрузку напряжение, более низкое или более высокое, чем входное напряжение. Однако при этом выходное напряжение имеет по-

лярность, обратную по отношению к полярности входного напряжения.

Как и в случае преобразователя SEPIC [1, 8], пассивные элементы преобразователя Чука могут быть выбраны при помощи уравнений (1) – (3).

3.3. Обратногоходовой преобразователь

На рис. 7 приведена схема обратногоходовой преобразователя с высокочастотным трансформатором и конденсатором, подключённого к источнику питания через входной фильтр. Кроме того, трансформатор этого преобразователя работает как катушка индуктивности.

Схема обратногоходовой преобразователя во включённом и выключенном состоянии показана на рис. 8. Когда контакты S замкнуты, первичная обмотка трансформатора запитывается от источника питания, а конденсатор C питает нагрузку. Когда контакты S

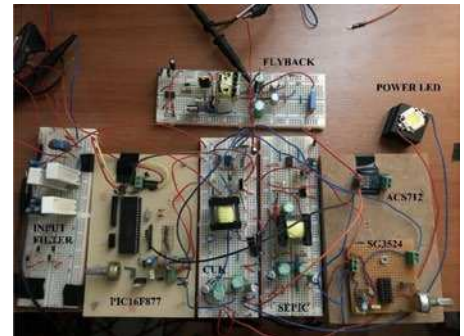


Рис. 10. Экспериментальная установка

разомкнуты, энергия первичной обмотки передаётся во вторичную обмотку, ток которой через D поступает в нагрузку и C [1, 4–7].

Как и в [1, 4–7], пассивные элементы обратногоходовой преобразователя могут быть выбраны при помощи уравнений (4) и (5):

$$L_{max} = n^2 \cdot R_{Lmin} \cdot (1 - D)^2 / (2 \cdot f_{sw}), \quad (4)$$

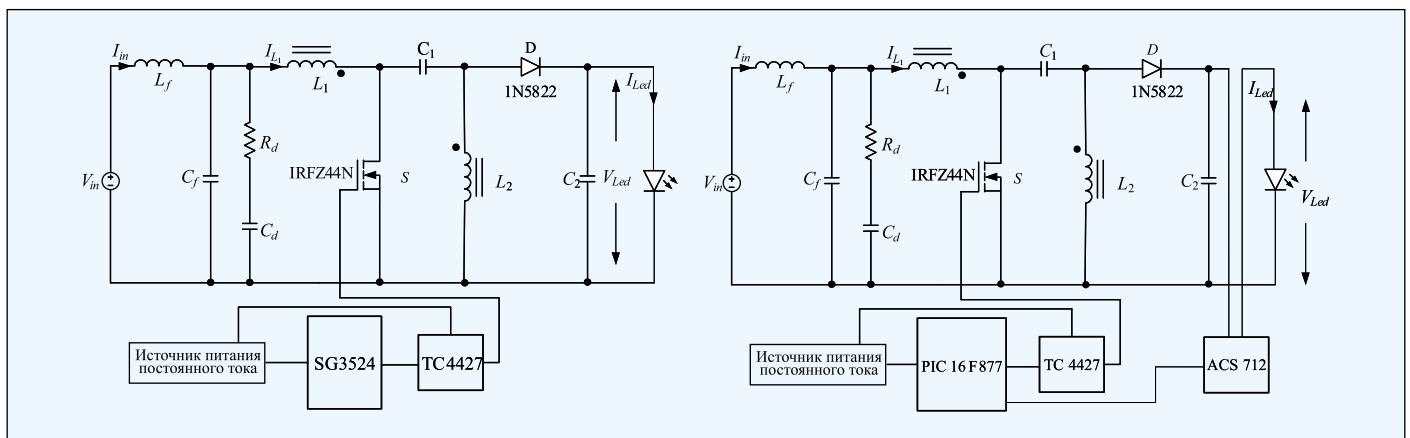


Рис. 11. Схемы УУ для СД на основе преобразователя SEPIC

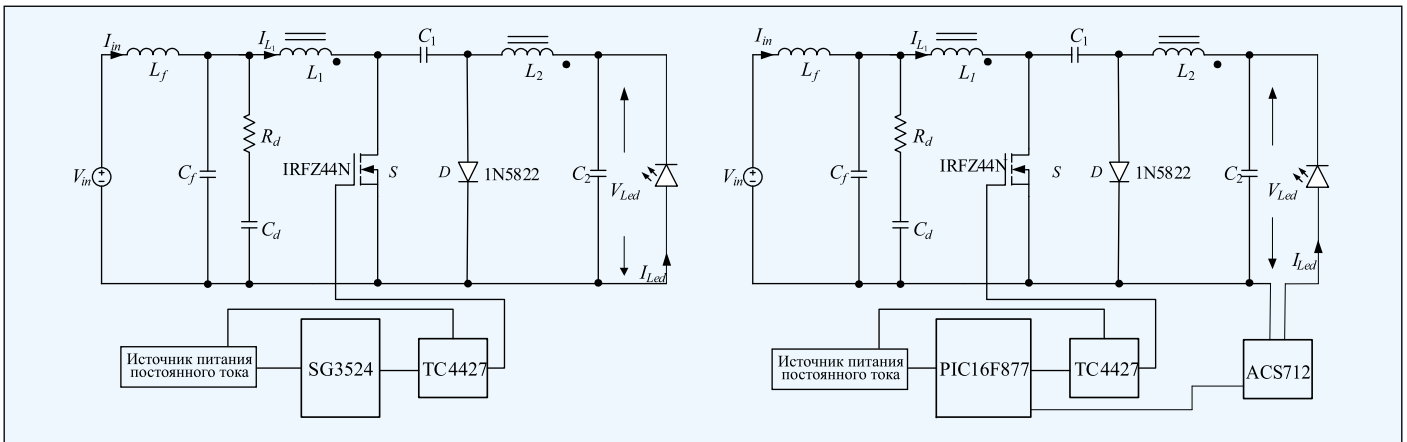


Рис. 12. Схемы УУ для СД на основе преобразователя Чука

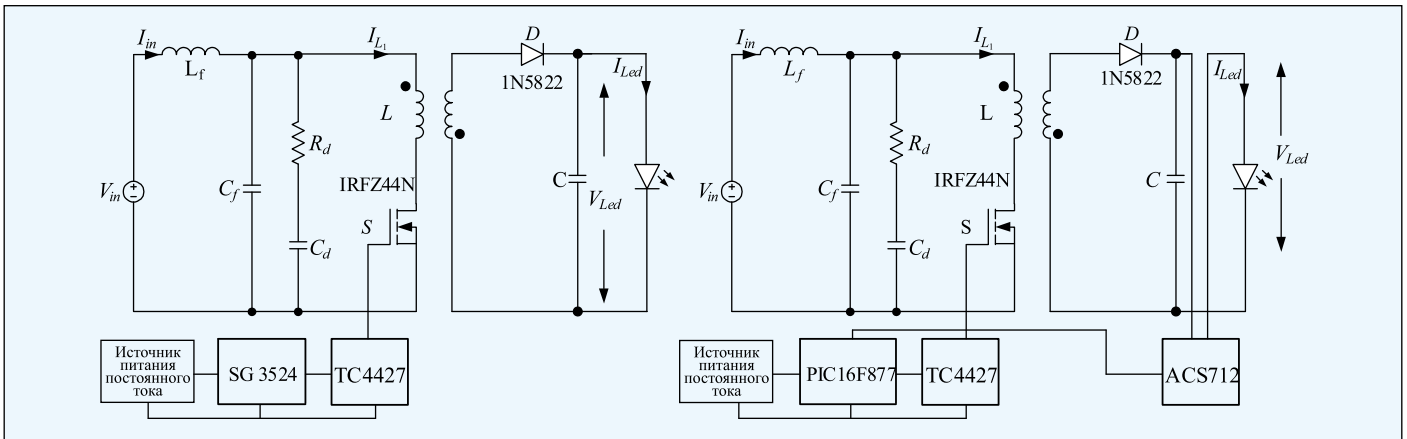


Рис. 13. Схемы УУ для СД на основе обратноходового преобразователя

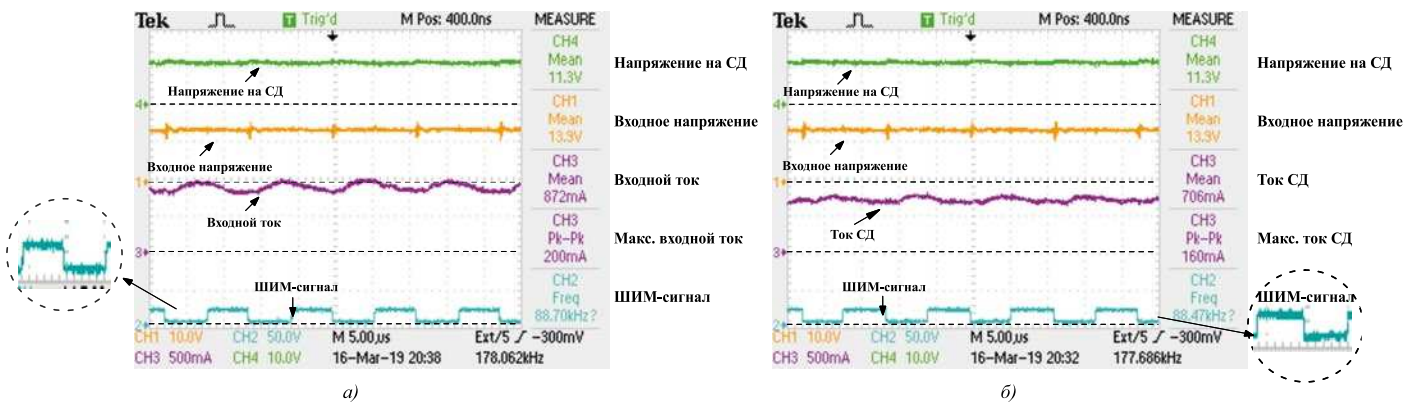


Рис. 14. Преобразователь SEPIC: а – напряжение на СД, входные напряжение и ток и ШИМ-сигнал; б – напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал

$$C_{min} = I_{omax} \cdot D / (f_{sw} \cdot V_{cpp}), \quad (5)$$

где L_{mmax} – максимальное значение индуктивности намагничивания для работы в режиме DCM, D – коэффициент заполнения, R_{Lmin} – минимальная нагрузка, f_{sw} – частота переключения, C_{min} – минимальная ёмкость выходного конденсатора, V_{cpp} – пульсация напряжения на C , I_{omax} (I_{Ledmax}) – максимальный выход-

ной ток (протекающий через СД), n – отношение количества витков обмоток трансформатора.

3.4. Входной фильтр

На рис. 9 приведена схема входного фильтра, которая используется с преобразователями SEPIC, Кука и обратноходовым. Этот фильтр называют индуктивно-ёмкостным входным демпфирующим фильтром (LC-

фильтр). Все рассмотренные в этой статье преобразователи работают в режиме DCM, поэтому без использования входного фильтра ток питания будет прерывистым. Для обеспечения непрерывности тока питания и снижения высокочастотного шума используется LC-фильтр.

Как и в [24, 25], пассивные элементы входного фильтра могут быть выбраны при помощи уравнений (6) – (9):

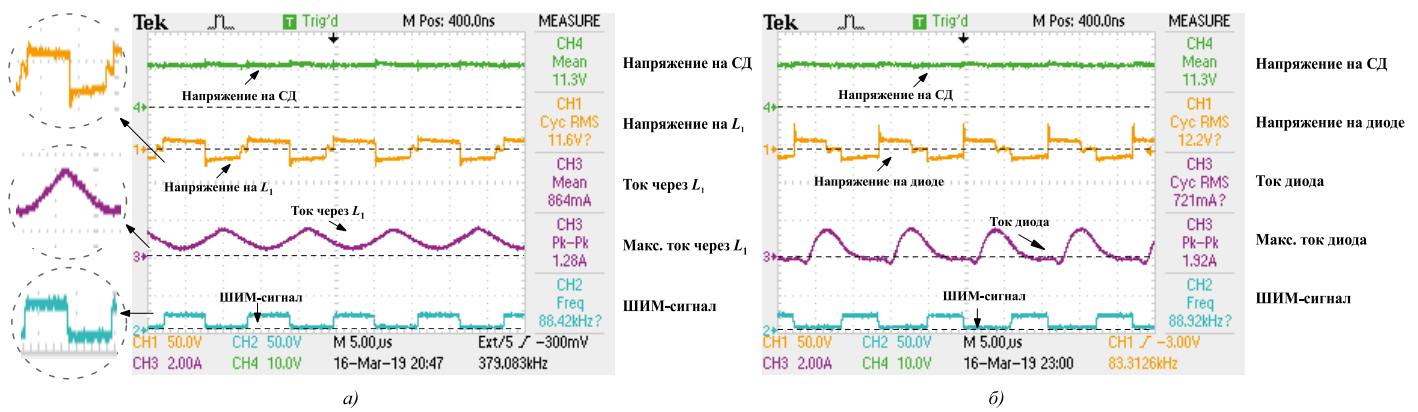


Рис. 15. Преобразователь SEPIC: а – напряжение на СД, напряжение на расположенной на входе катушке индуктивности, протекающий через неё ток и ШИМ-сигнал; б – напряжение на СД, напряжение на диоде, ток диода и ШИМ-сигнал

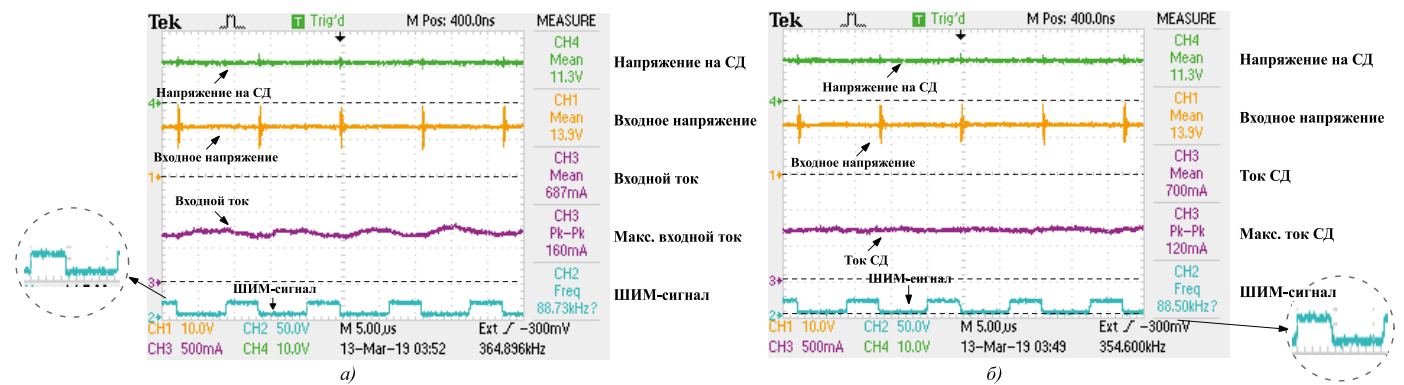


Рис. 16. Преобразователь Чука: а – напряжение на СД, входные напряжение и ток и ШИМ-сигнал; б – напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал

$$f_f = 1/(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C_f}), \quad (6)$$

$$R_0 = \sqrt{L_f / C_f}, \quad (7)$$

$$R_d = R_0 \times \sqrt{(2+a) \cdot (4+3 \cdot a) / (2 \cdot a^2 \cdot (4+a))}, \quad (8)$$

$$a = C_d / C_f \quad (9)$$

где f_f – частота среза фильтра, L_f – индуктивность катушки индуктивности фильтра, C_f – ёмкость конденсатора фильтра, R_0 – характеристическое сопротивление недемпфированного фильтра, R_d – демпфирующее сопротивление, C_d – ёмкость демпфирующего конденсатора. В результате расчётов было получено, что L_f , C_f , R_d и C_d равны, соответственно, 160 мкГн, 10 мкФ, 2,47 Ом и 40 мкФ, и именно эти значения используются во всех УУ для СД.

4. Применение

В этом разделе описаны варианты применения преобразователей SEPIC,

Чука и обратных в УУ для СД. На рис. 10 показана экспериментальная установка. Все преобразователи подключены к источнику питания через входной LC-фильтр, а в качестве нагрузки выступает мощный СД типа COB, вольт-амперная характеристика которого приведена на рис. 1. Для проведения измерений используются осциллограф TPS2024B, токовый щуп A622 и мультиметры FLUKE15B и FLUKE17B. Переключение преобразователей из включённого состояния в выключенное и обратно осуществляется интегральной схемой SG3524 или микроконтроллером PIC16F877.

4.1. Преобразователь SEPIC

Схемы УУ для СД на основе преобразователя SEPIC показаны на рис. 11. При этом в схеме без обратной связи применяется микросхема SG3524, а в схеме с обратной связью – микроконтроллер PIC16F877 и датчик тока ACS712. Кроме того, в схеме включены мощный полевой МОП-транзистор IRFZ44N, УУ на полевом МОП-транзисторе TC4427 и диод

Шоттки 1N5822. L_1 и L_2 имеют индуктивности 18 мкГн, а ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 составляют 10 и 460 мкФ соответственно [2,3, 26–31].

Коэффициент заполнения может быть изменён с помощью потенциометров, подключённых к SG3524 и PIC16F877, а частота ШИМ установлена равной 88 кГц. Для снижения высокочастотного шума и предотвращения прерывистости тока питания используется LC-фильтр. Кроме того, пассивные элементы имеют характеристики, рассчитанные при помощи уравнений (1) – (3).

4.2. Преобразователь Чука

Схемы УУ для СД на основе преобразователя Чука, одна из которых опять же является схемой без обратной связи, а вторая – схемой с обратной связью, показаны на рис. 12. В этих схемах применяются микросхема SG3524 или микроконтроллер PIC16F877, используемые для формирования сигналов ШИМ, а также мощный полевой МОП-транзистор IRFZ44N, УУ на полевом МОП-транзисторе TC4427 и диод Шоттки

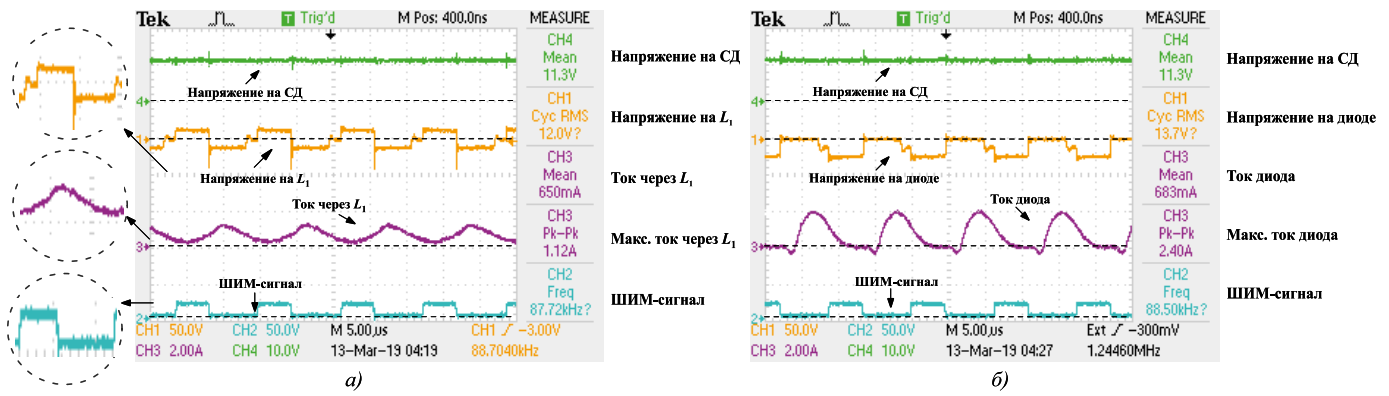


Рис. 17. Преобразователь Чука: *а* – напряжение на СД, напряжение на расположенной на входе катушке индуктивности, протекающий через неё ток и ШИМ-сигнал; *б* – напряжение на СД, напряжение на диоде, ток диода и ШИМ-сигнал

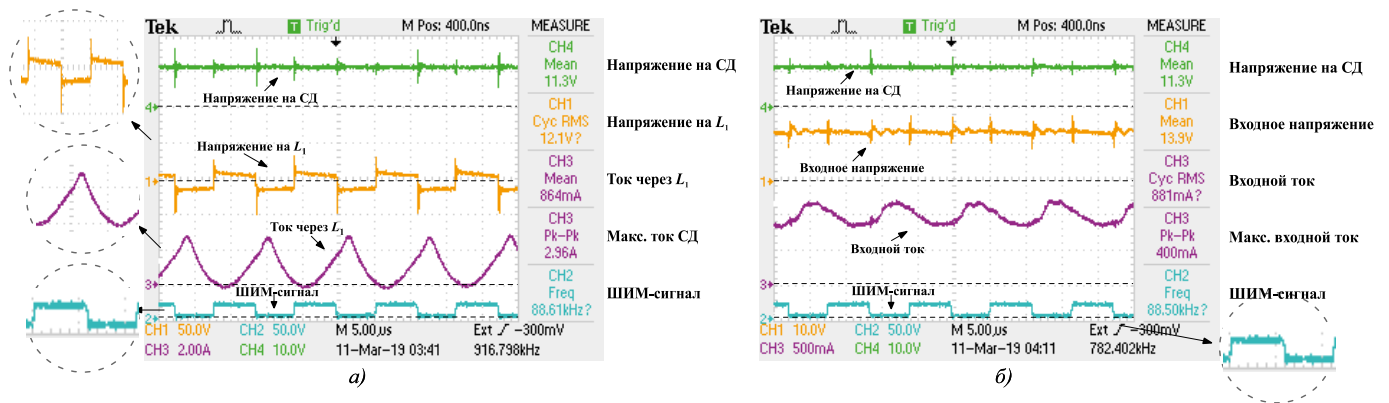


Рис. 18. Обратногоходовой преобразователь: *а* – напряжение на СД, напряжение на первичной обмотке трансформатора, протекающий через неё ток и ШИМ-сигнал; *б* – напряжение на СД, входное питающее напряжение, питающий ток и ШИМ-сигнал

IN5822. L_1 и L_2 имеют индуктивности 18 мкГн, а ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 составляют 10 и 460 мкФ соответственно [8, 26–31].

Коэффициент заполнения может быть изменён с помощью потенциометров, подключённых к *SG3524* и *PIC16F877*, а частота ШИМ и в этом случае установлена равной 88 кГц. Пассивные элементы опять же выбирают с использованием уравнений (1) – (3).

4.3. Обратногоходовой преобразователь

Схемы УУ для СД на основе обратногоходовой преобразователя, одна из которых опять же является схемой без обратной связи, а вторая – схемой с обратной связью, показаны на рис. 13. В этих схемах применяются микросхема *SG3524* или микроконтроллер *PIC16F877*, используемые для формирования сигналов ШИМ, а так-

же мощный полевой МОП-транзистор *IRFZ44N*, УУ на полевом МОП-транзисторе *TC4427* и диод Шоттки *IN5822*. Индуктивности первичной и вторичной обмоток трансформатора равны 18 мкГн, а конденсатор *C* имеет ёмкость 460 мкФ [4–7, 26–31].

Коэффициент заполнения может быть изменён с помощью потенциометров, подключённых к *SG3524* и *PIC16F877*, а частота ШИМ и в этом случае установлена равной 88 кГц. Пассивные элементы выбирают при помощи уравнений (4) и (5).

5. Результаты измерений

Напряжения на СД (V_{Led}), токи СД (I_{Led}), входные напряжения (V_{in}), входные токи (I_{in}), ШИМ-сигналы, протекающие через расположенные на входе катушки индуктивности (I_{L1}), и напряжения на них (V_{L1}) измеряли с помощью осциллографа *TPS2024B* и токового щупа *A622* для всех УУ.

Результаты измерений, проведённых применительно к схемам, изображённым на рис. 11а, 12а и 13а, приведены на рис. 14 и 15, 16 и 17 и 18 и 19 соответственно. Для схем, изображённых

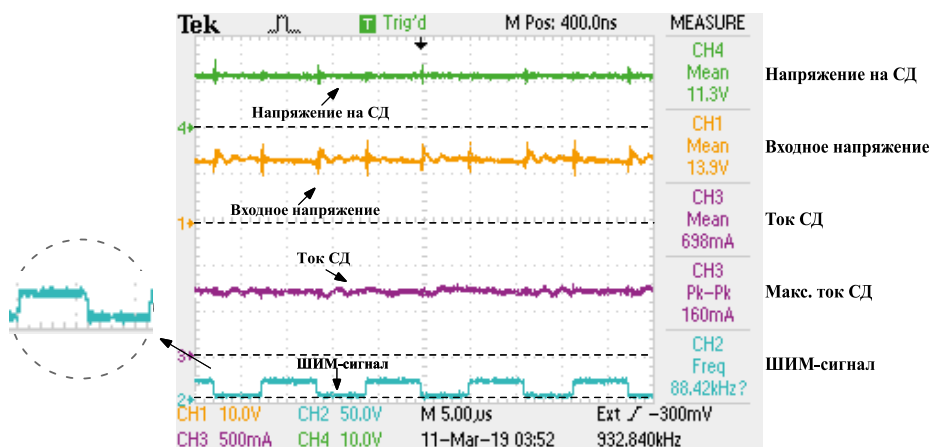


Рис. 19. Обратногоходовой преобразователь: напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал

ных на рис. 11б, 12б и 13 б, результаты остаются такими же, так как влияние дополнительного блока (*ACS712*) не отражается на общих характеристиках, которые приведены, соответственно, на рис. 14 и 15, 16 и 17 и 18 и 19.

5.1. Преобразователь *SEPIC*

На рис. 14а приведены напряжение на СД, входное напряжение, входной ток и ШИМ-сигнал, а на рис. 14б приведены напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал. Данные получены по каналам осциллографа 1, 2, 3 и 4. Видно, что при использовании входного фильтра ток питания является непрерывным, а КПД составляет примерно 66 % при выходной мощности 8 Вт.

На рис. 15а приведены напряжение на СД, напряжение на расположенной на входе катушке индуктивности, протекающий через неё ток (I_{L1}) и ШИМ-сигнал, а на рис. 15б приведены напряжение на СД, напряжение на диоде, ток диода (I_{Led}) и ШИМ-сигнал.

Хотя I_{L1} , показанный на рис. 15а, является непрерывным, при работе преобразователя *SEPIC* в режиме *DCM* I_{L1} отклоняется от некоторого постоянного уровня, а не от нуля, как это было в [32]. А показанный на рис. 15б I_{Led} , который уменьшается до нуля и увеличивается от нуля, подтверждает работу в режиме *DCM*. В результате видно, что преобразователь *SEPIC* работает в режиме *DCM* при равном 11,3 В напряжении на СД.

5.2. Преобразователь Чука

На рис. 16а приведены напряжение на СД, входное напряжение, входной ток и ШИМ-сигнал, а на рис. 16б приведены напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал. Данные получены по каналам осциллографа 1, 2, 3 и 4. Видно, что при использовании входного фильтра ток питания является непрерывным, а КПД составляет примерно 83 % при выходной мощности 8 Вт.

На рис. 17а приведены напряжение на СД, напряжение на расположенной на входе катушке индуктивности, протекающий через неё ток (I_{L1}) и ШИМ-сигнал, а на рис. 17б приведены напряжение на СД, напряжение на диоде, ток диода и ШИМ-сигнал.

Как и в случае преобразователя *SEPIC*, при работе преобразователя Чука в режиме *DCM* ток индуктивности L_1 отклоняется от уровня постоянного тока, а не от нулевого значения, как это было в [32]. А показанный на рис. 17б I_{Led} , который уменьшается до нуля и увеличивается от нуля, подтверждает работу в режиме *DCM*. В результате видно, что преобразователь Чука работает в режиме *DCM* при равном 11,3 В напряжении на СД.

5.3. Обратноходовой преобразователь

На рис. 18а приведены напряжение на СД, напряжение на первичной обмотке трансформатора, протекающий через неё ток и ШИМ-сигнал. Данные получены по каналам осциллографа 1, 2, 3 и 4. Видно, что обратноходовой преобразователь работает в режиме *DCM* с равным 11,3 В напряжением на СД. На рис. 18б приведены напряжение на СД, входное питающее напряжение, питающий ток и ШИМ-сигнал. Данные, опять же, получены по каналам осциллографа 1, 2, 3 и 4. Видно, что при использовании входного фильтра ток питания является непрерывным.

На рис. 19 приведены напряжение на СД, входное напряжение, ток СД и ШИМ-сигнал. Можно рассчитать, что в этом случае КПД составляет примерно 65 % при выходной мощности 8 Вт.

6. Выводы

В данной статье сравниваются УУ для СД на основе преобразователей *SEPIC*, Чука и обратноходового. Все преобразователи работают в режиме *DCM* как по схеме с обратной связью, так и по схеме без обратной связи. Кроме того, чтобы ограничить ток СД во избежание повреждения мощных СД, этот ток измеряется датчиком тока *ACS712*. В реализованных схемах были измерены токи СД, напряжения на СД, входные токи и напряжения, а также токи, протекающие через расположенные на входе катушки индуктивности, и напряжения на них.

При использовании одного и того же входного фильтра, у УУ для СД на основе преобразователей *SEPIC*, Чука и обратноходового колебания входного тока составляют 0,1; 0,08 и 0,2 А соответственно. Кроме того,

УУ для СД на основе преобразователя *SEPIC*, в отличие от остальных УУ, не искажает входное напряжение. УУ для СД на основе преобразователей *SEPIC*, Чука и обратноходового обеспечивают питание мощных СД с колебаниями тока, равными 80, 60 и 80 мА соответственно. В случаях УУ на основе преобразователей *SEPIC* и Чука напряжение на мощных СД является неизменным, тогда как при использовании обратноходового преобразователя имеют место небольшие пульсации. Помимо этого, преобразователь Чука имеет более высокий КПД, чем преобразователи *SEPIC* и обратноходовой.

Как следует из полученных результатов, УУ для СД на основе преобразователей Чука и *SEPIC* имеют схожие характеристики, но преобразователю Чука всё же соответствуют более хорошие результаты. С другой стороны, в случае преобразователя *SEPIC* выходное напряжение имеет ту же полярность, что и входное напряжение, тогда как в случае преобразователя Чука эти напряжения имеют противоположные полярности. Таким образом, если полярность напряжения важна, то лучше использовать преобразователь *SEPIC*. Следует, однако, отметить, что УУ для СД на основе обратноходового преобразователя имеет электрическую изоляцию, которая обеспечивается его высокочастотным трансформатором, и если такая изоляция нужна, то можно использовать УУ для СД на основе обратноходового преобразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kazmierczuk, M.K. Pulse Width Modulated DC-DC Power Converters // 1st edition, Singapore: Wiley, 2008.
2. <http://www.ti.com/lit/an/slyt309/slyt309.pdf>
3. <http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf>
4. <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/an/an-4137.pdf>
5. https://www.fujielectric.com/products/semiconductor/model/power_supply/technical/box/pdf/Fly-Back_transformer_Design_Rev_1_0_E.pdf
6. <https://www.mouser.com/pdfdocs/2-8.pdf>
7. http://www.ridleyengineering.com/images/phocadownload/12_%20flyback_snumber_design.pdf
8. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2611.pdf>

9. Mohammed, L., Saudin, N., Hamid, N.F.A., Ramly, N.H., Isa, Z.M., Ahamad, N.B. Cuk Converter as a Led Lamp Driver // IEEE International Conference on Power and Energy, Kota Kinabalu Sabah, Malezya, 7–10 October 2018. – P. 262–267.

10. Sepahvand, A., Kumar, A., Doshi, M., Yousefzadeh, V., Patterson, J., Afridi, K.K., Maksimovic, D. Current Control and PWM Dimming in an Automotive LED Driver based on a Cuk Converter // IEEE 18th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics, Stanford, USA.– 2017. – P. 1–8.

11. Hsieh, Y., Liu, B., Wu, J., Fang, C., Tsai, H., Juang, Y. A SEPIC LED Driver with a Hybrid Dimming Technique for Road Vehicles // Proceedings of the 14th European Conference on Power Electronics and Applications, Birmingham, UK.– 2011. – P. 1–7.

12. Thungod, C., Tuptimkaew, A., Rattanachan, M., Buaban, S., Loakhen, D., Wansungnoen, P., Pattanapongthong, P., Khanngern, W. Design of Heat Management Model of 6,000 Lumen LED Worklamp Using Integrated SEPIC Drivers // International Electrical Engineering Congress, Chonburi, Thailand.– 2014. – P. 1–4.

13. Nazarudin, M.S.N., Arif, M., Aspar, Z., Yahya, A., Selvaduray, T.R. A Flyback SMPS LED Driver for Lighting Application // 10th Asian Control Conference, Kota Kinabalu Sabah, Malezya.– 2015. – P. 1–5.

14. Falcon, A., Lindstrom, E.O., D'Amico, M.B. Modelling and control of a Flyback converter to Drive a Dimmable LED Array // IEEE Biennial Congress of Argentina, Buenos Aires, Argentina.– 2016. – P. 1–6.

15. Hsu, L., Liang, T., Tseng, W., Lin, Y. Multiple-Output Dimmable LED Driver with Flyback Converter // IEEE International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems, Hamilton, New Zealand, 2018. – P. 134–139.

16. Jia, L., Lakshmiathan, S., Liu, Y. Cascade Switching Modelling and Improvement in Flyback Converter for LED Lighting Applications // IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, San Antonio, USA.– 2018. – P. 3444–3451.

17. Arias, M., Vazquez, A., Sebastian, J. An Overview of the AC-DC and DC-DC Converters for Led Lighting Applications. // Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications.– 2012. – Vol. 53, No.2. – P. 156–172.

18. Cabral, H.G., Marques, A.R., Pedrollo, G.R., De Faria, P.F., Dos Reis, F.S. Performance Comparison of Buck-boost Family Converters for Driving LED Lamps // 11th IEEE/IAS International Conference on Industry Application INDUSCON, Cascatinha, Brazil, 2014.

19. Villanueva, I., Juarez, M.A., Martinez, P.R., Sosa, J.M., Vazquez, G. Comparative

Analysis of the Reliability of Drivers for Power Led // IEEE International Autumn Meeting on Power Electronics and Computing, Mexico.– 2015. – P. 1–6.

20. Sehirli, E., Altunay, M., Cakir, B. Comparison of a Single Phase Linear and Buck-boost Led Driver // Light&Engineering.– 2015. – Vol. 23, No.3. – P. 78–84.

21. Алтунай М., Чакур Б., Шехурли Э. Сравнение линейного и повышающе-понижающего преобразователей для питания светодиодов от сети переменного тока // Светотехника.– 2015.– № 4. – С. 59–63.

22. Sehirli, E., Altunay, M., Üstün, Ö., Cakir, B. Comparison of a Single Phase Buck-boost and SEPIC Led Driver // Light&Engineering.– 2017. – Vol. 25, No. 4. – P. 50–55.

23. Алтунай М., Чакур Б., Шехурли Э., Юстун Ё. Сравнение основных типов преобразователей для питания светодиодов в сети переменного тока // Светотехника.– 2017.– № 5. – С. 50–55.

24. <http://www.ti.com/lit/an/snva538/snva538.pdf>

25. http://ecee.colorado.edu/~ecen5807/course_material/Ch10slides.pdf

26. Data sheet SG3524. Regulating Pulse-Width Modulators. Texas Instrument.– 2003.

27. Data sheet PIC16F87X. 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers. Microchip.– 2013.

28. Data sheet IRFZ44N. HexFET Power MOSFET. International Rectifier.– 2010.

29. Data sheet 1N5822. Schottky Barrier Plastic Rectifier, VISHAY.– 2013.

30. Data sheet TC4427. 1.5 A Dual High-Speed Power Mosfet Drivers, 2014.

31. Data sheet ACS712. Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1k VRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. Allegro Microsystems.– 2017.

32. Spiazzi, G., Rosetto, L. High-Quality Rectifier Based on Coupled-Inductor Sepic Topology // Proceedings of Power Electronics Specialist Conference PESC'94, Taipei, Taiwan. 1994.



Эрдал Шехурли (Erdal Sehirli),

Ph.D. (2017 г.). Преподаватель Университета Кастамону. Область научных интересов: устройства управления для светодиодов, мощные электронные приборы, электрические машины и приводы, выпрямители напряжения и нелинейные системы управления

ные приборы, электрические машины и приводы, выпрямители напряжения и нелинейные системы управления

Новые светодиоды «chip-on-board» компании Lumileds для светильников направленного света и потолочных

Компания Lumileds LLC представила три линейки СД типа «CoB» – «LUXEON CX Plus CoB (Gen 2)», «LUXEON CX Plus CoB – High Density» и «LUXEON CX Plus CoB – High Density (Below BBL)», – являющиеся дешёвой модернизацией существующих матриц СД как Lumileds, так и конкурирующих с ней компаний.

У изделий «LUXEON CX Plus CoB (Gen 2)» световой поток на 14 % больше, чем у матриц СД предшествующего поколения (Gen 1). Они имеют: излучающую поверхность (ИП) диаметром 4,5, 6, 12 или 14 мм; коррелированную цветовую температуру ($T_{кц}$) 2700–5000 К; световую отдачу выше 140 лм/Вт при $T_{кц}$ 3000 К и R_a 80 или 122 лм/Вт при $T_{кц}$ 3000 К и R_a 90.

Новые изделия «LUXEON CX Plus CoB – High Density» лидируют в отрасли по осевой силе света и поставляются как в варианте с координатами цветности, лежащими на линии чёрного тела (BBL) для имитации ГЛН, так и в варианте с координатами цветности, лежащими ниже этой линии (Below BBL) для обеспечения подбора освещению МГЛ с керамической горелкой. Изделия «LUXEON CX Plus CoB – High Density» имеют максимальный световой поток 1150 лм при $T_{кц}$ 3000 К и R_a 90 при наименьшем диаметре ИП – 4,5 мм. Этот поток на 10 % выше, чем у конкурирующих СД типа «CoB» с диаметром ИП 6 и 9 мм. Новые изделия поставляются в трёх вариантах диаметров ИП (4,5; 6 и 9 мм), с подложкой размером 12,35 × 13,35 мм и охватывают диапазон $T_{кц}$ 2700–5000 К при R_a не менее 80 или 90 и координатах цветности в пределах эллипса Мак-Адама второй или третьей ступеней. В варианте «Below BBL» $T_{кц}$ составляет 2700–4000 К при R_a не менее 95 и координатах цветности в пределах эллипса Мак-Адама второй или третьей ступеней.

Во всех названных изделиях LUXEON используются подложки с металлической основой для печатных плат, которые меньше подвержены растрескиванию при сборке светильников. Кроме того, низкое тепловое сопротивление таких подложек обеспечивает великолепный отвод тепла от СД, что позволяет уменьшать размеры как радиаторов, так и светильников в целом.

semiconductor-today.com
01.11.2019



Состояние музейного освещения в России¹

А.А. БАРЦЕВА,^{1,3} Г.В. БООС², А.Ш. ЧЕРНЯК¹, А.Б. КУЗНЕЦОВА¹,
Е.И. РОЗОВСКИЙ¹

¹ООО «ВНИСИ», Москва

²НИУ «МЭИ», Москва

³E-mail: bartseva@vnisi.ru

Аннотация

Приведены результаты анализа ответов 90 музеев Российской Федерации на вопросы, связанные с освещением этих музеев, а также результаты обследования и измерения параметров освещения (средняя освещённость на экспонатах, коррелированная цветовая температура, индекс цветопередачи и распределение яркости в поле зрения), проведённых в 7-ми музеях и 1-ом реставрационном центре. Установлено, что в целом освещение музеев в Российской Федерации удовлетворяет действующим на настоящий момент требованиям и рекомендациям и лишь в немногих случаях нуждается в кардинальном изменении. Многие музеи уже используют в качестве источников света светодиоды и готовы целиком перейти на освещение светодиодами. При этом одной из основных проблем музеи (в первую очередь, небольшие) считают отсутствие нормативных документов в области музейного освещения.

Ключевые слова: музейное освещение в РФ, освещённость, коррелированная цветовая температура, общий индекс цветопередачи, стандарты на музейное освещение.

1. Введение

В начале 2018 г. Министерство культуры Российской Федерации инициировало проведение исследований, конечной целью которых была разработка современных требований и рекомендаций по музейному освещению, которыми работники музеев могли бы руководствоваться в своей работе [1]. Одним из направлений этих исследований было получение полной картины текущего состояния музейного освещения на основе ре-

зультатов анкетирования музеев и выборочного контроля параметров освещения в ряде музеев Москвы и Санкт-Петербурга.

2. Результаты анкетирования

Для получения полного представления о реальном состоянии музейного освещения в Российской Федерации, ВНИСИ им. С.И. Вавилова при участии Министерства Культуры Российской Федерации, Государственно-

го Эрмитажа, Государственной Третьяковской галереи и Государственного научно-исследовательского института реставрации (ГосНИИР) разработал анкету, которая в июне 2018 г. была разослана в 168 музеев Российской Федерации разного уровня, от общегосударственного до регионального.

Анкета включала в себя 13 вопросов по различным аспектам освещения музейных предметов, ответы на которые прислали 90 из 168 опрошенных музеев (54 %), что позволило сформировать следующую картину состояния музейного освещения в Российской Федерации.

Вопрос 1. Общая информация о музее. В большинстве музеев отсутствуют специалисты-светотехники, и их обязанности по большей части возложены на электриков, не имеющих специального светотехнического образования, но и они имеются только в 53 % ответивших на вопросы музеев.

Таблица 1

Типы источников света, используемых музеями для общего освещения, % от количества ответивших музеев

Тип источника света	Тип помещения		
	Выставочные залы	Фондохранилища	Реставрационные мастерские
Естественное освещение	46	31	37
ЛН	18	14	10
ГЛН	23	3	3
ЛЛ	54	56	43
КЛЛ	49	30	18
СД	77	42	32
МГЛ	8	3	3

Таблица 2

Типы источников света, используемых музеями для акцентирующего освещения, % от количества ответивших музеев

Тип источника света	Тип помещения		
	Выставочные залы	Фондохранилища	Реставрационные мастерские
ЛН	2	2	7
ГЛН	33	3	7
ЛЛ	18	3	12
КЛЛ	18	1	17
СД	61	6	14
МГЛ	9	0	2

¹ По материалам доклада на 29-ой проходящей раз в четыре года сессии МКО, 14–22 июня 2019 г., Вашингтон, США.

Количество музеев, поддерживающих указанное значение освещённости (% от общего количества музеев, ответивших на соответствующие вопросы анкеты), и усреднённое значение освещённости (лк) для материалов, относящихся к группе 1 по светостойкости

Освещённость, лк*	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	> 500
Группа 1 в целом: количество музеев,%	19	27	21	9	23	1

* Освещённость, усреднённая по всем предметам, относящимся к группе 1, равна 275 лк.

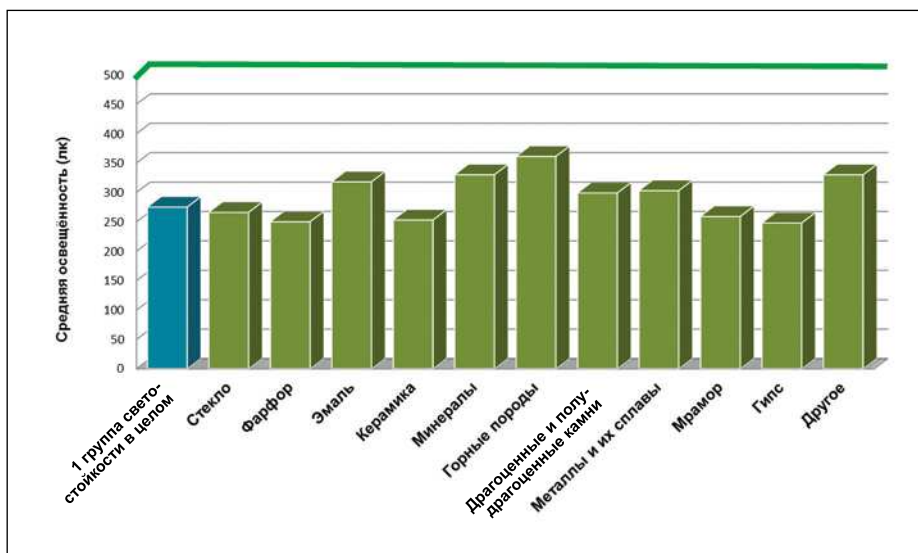


Рис. 1 – Значения освещённости для материалов 1-ой группы по светостойкости (усреднённые по всем ответившим музеям). Согласно рекомендациям МКО [4], для материалов группы 1 по светостойкости значения освещённости не ограничиваются. Зеленой линией выделено предельно допустимое значение освещённости по отечественным рекомендациям (500 лк) [2, 3]

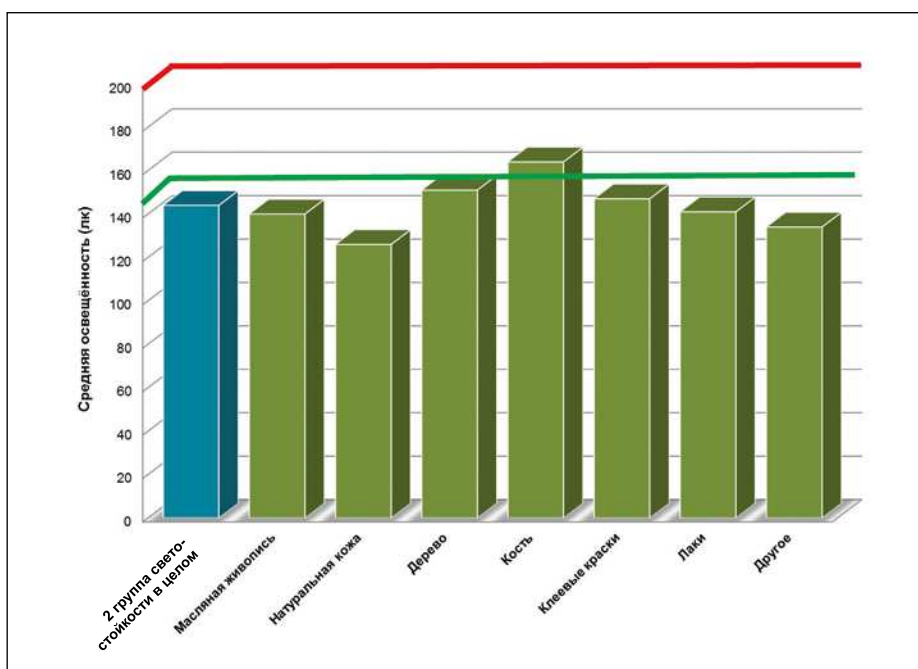


Рис. 2. Значения освещённости для материалов 2-ой группы по светостойкости (усреднённые по всем ответившим музеям). На рисунке красной линией отмечено значение освещённости (200 лк), предельно допустимое согласно рекомендациям МКО для материалов этой группы [3]. Зеленой линией выделено предельно допустимое значение освещённости по отечественным рекомендациям (150 лк) [2, 3]

Вопрос 2. Экспонируемые объекты. В некоторых музеях коллекции систематизированы по регионам и народам, и в помещениях хранилищ и выставочных залов нет разделения предметов по светостойкости, так что во всех помещениях, где находятся музейные предметы, поддерживается режим комплексного хранения. Отсюда возникает проблема грамотного поддержания светового режима для экспонатов, хранящихся по тематико-хронологическому принципу.

Вопрос 3. Используемые источники света. Для общего искусственного освещения выставочных залов, фондохранилищ и реставрационных мастерских в музеях используют, главным образом, люминесцентные лампы (ЛЛ), компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) и светодиоды (СД) тёпло-белого света с коррелированной цветовой температурой (T_c) 2700–3200 К, а для акцентирующего освещения музейных предметов используют галогенные лампы накаливания (ГЛН), ЛЛ, СД белого света ($T_c = 3200–4200$ К и КЛЛ). В фондохранилищах предпочитают использовать ЛЛ, в основном, белого света ($T_c = 3200–4200$ К) для общего освещения и СД, ГЛН или ЛЛ для акцентирующего освещения (табл. 1, 2). Что касается количественных показателей внедрения в музейную практику СД освещения, то СД источники света уже в той или иной степени применяются для общего и акцентирующего освещения в 77 и 61 % опрошенных музеев соответственно. Это же относится и к реставрационным мастерским и фондохранилищам. При этом практически нет музейных выставочных помещений, где отсутствует естественный свет, что представляет опасность для произведений искусства, обладающих слабой светостойкостью. Что касается регулирования светотехнических характеристик светильников акцентирующего и общего освещения, то оно, в сущности, огра-

ничивается регулированием световых потоков источников света, то есть изменением мощности источников света, причём примерно 32 % музеев не могут позволить себе и этого. Лишь некоторые музеи используют индивидуальные органы управления на корпусах осветительных приборов, регулировку по Bluetooth и т.д.

Вопрос 4. Поддерживаемый уровень освещённости при искусственном освещении. Поддерживаемые уровни освещённости на музейных предметах приводились респондентами применительно к принятой в РФ классификации материалов музейных предметов по светостойкости [2, 3], которая состоит из трёх групп:

– 1-я группа (малочувствительные (с высокой светостойкостью), что примерно соответствует группе I по CIE157:2004 [4]);

– 2-я группа (среднечувствительные (со средней светостойкостью), что примерно соответствует группе II по CIE157:2004 [4]);

– 3-я группа (особочувствительные (с низкой светостойкостью), что примерно соответствует группам III и IV по CIE157:2004 [4]).

Применительно к этой классификации, из ответов музеев следует, что для музейных предметов, относящихся к группам 1 и 2 по светостойкости, принятые в настоящее время в РФ рекомендации в части предельно допустимых уровней освещённости музейных предметов выполняются в большинстве музеев, а международные требования, менее жёсткие в случае материалов 2-ой группы, выполняются практически всегда. Что касается музейных предметов, относящихся к группе 3 по светостойкости, то предъявляемым требованиям удовлетворяет только половина музеев (табл. 3–5, рис. 1–3).

Вопрос 5. Тональность фона (стен) при экспонировании музейных предметов. Вопрос 6. Освещённость фона (по сравнению с освещённостью экспонатов). В музеях встречаются и средняя, и светлая и тёмная тональности фона, а предпочтительными музеи считают среднюю или светлую и, в меньшей степени, тёмную, тональности фона (табл. 6). Что касается предпочтений в части соотношения между освещённостями фона и экспонатов, то в настоящее время освещённость фона, по большей части, примерно равна или меньше ос-

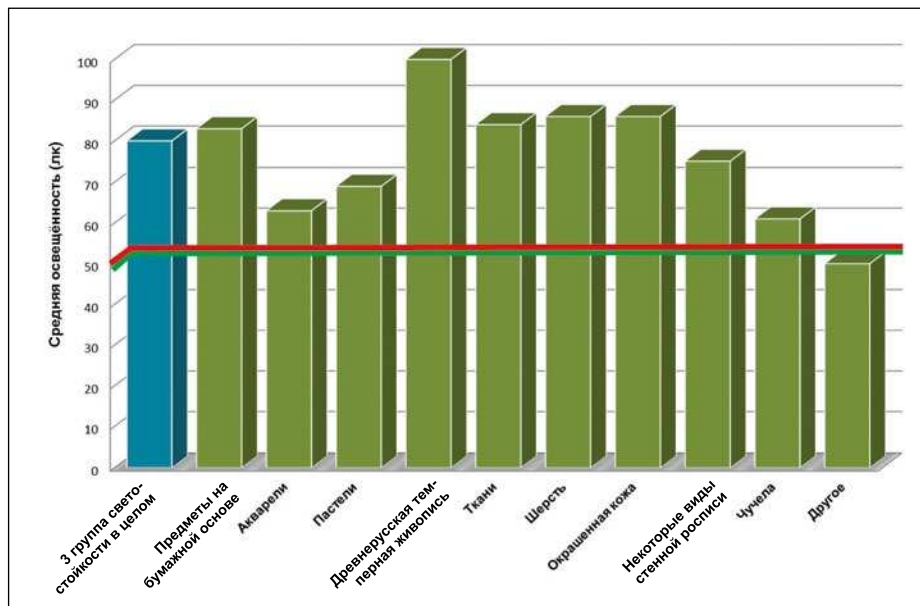


Рис. 3. Значения освещённости для материалов 3-ей группы по светостойкости (усреднённые по всем ответившим музеям). На рисунке красной линией отмечено значение освещённости (50 лк), предельно допустимое согласно рекомендациям МКО для материалов этой группы [4]. Зелёной линией выделено предельно допустимое значение освещённости по отечественным рекомендациям (тоже 50 лк) [2, 3]

Рис. 4. Ответы музеев на вопрос № 10 анкеты (адекватность требований к освещённости) применительно к выставочным залам

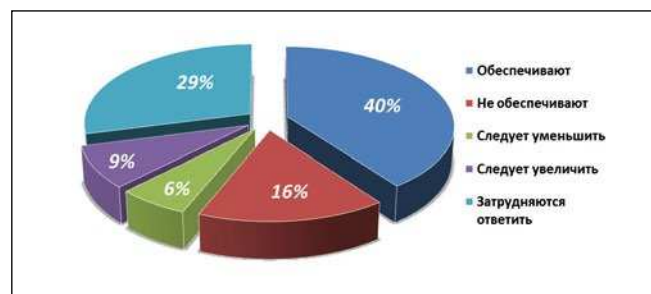


Рис. 5. Ответы музеев на вопрос № 10 анкеты (адекватность требований к освещённости) применительно к фондохранилищам

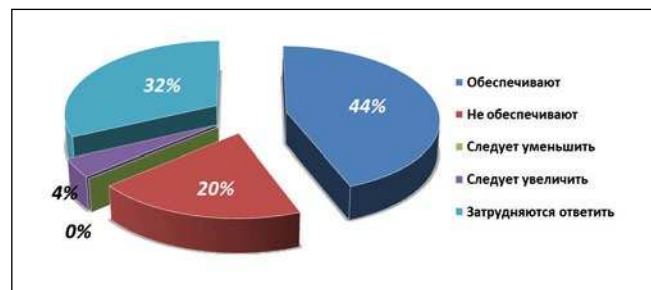
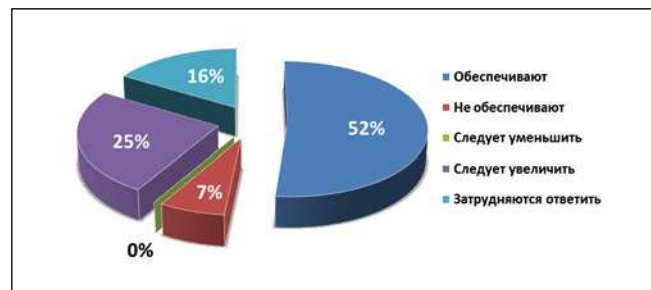


Рис. 6. Ответы музеев на вопрос № 10 анкеты (адекватность требований к освещённости) применительно к реставрационным мастерским



вещённости экспонатов, а предпочтительным музеи также считают фон, освещённость которого ниже или примерно равна освещённости экспонатов (табл. 7).

Вопрос 7. Какие методы регулирования естественной освещённости и защиты от естественного света используются в музее? В музеях используются практически все известные

Количество музеев, поддерживающих указанное значение освещённости (% от общего количества музеев, ответивших на соответствующие вопросы анкеты), и усреднённое значение освещённости (лк) для материалов, относящихся к группе 2 по светостойкости

Освещённость, лк*	0–100	100–150	150–200	200–300	>300	0–150**	0–200***
Группа 2 в целом: количество музеев,%	32	40	24	4	–	72	96

* Освещённость, усреднённая по всем предметам, относящимся к группе 2, равна 144 лк.

** Допустимая освещённость по рекомендациям, действующим в РФ (< 150 лк) [2, 3].

*** Допустимая освещённость по международным рекомендациям (< 200 лк) [4].

Количество музеев, поддерживающих указанное значение освещённости (% от общего количество музеев, ответивших на соответствующие вопросы анкеты) и усреднённое значение освещённости (лк) для материалов, относящихся к группе 3 по светостойкости

Освещённость, лк*	0–50**	50–75	75–100	100–150	150–200	>200
Группа 3 в целом: количество музеев,%	51	16	16	9	6	2

* Освещённость, усреднённая по всем предметам, относящимся к группе 3, равна 80 лк.

** Допустимая освещённость по рекомендациям, действующим в РФ, и по международным рекомендациям (< 50 лк) [2–4].

методы, в том числе, шторы, ролл-шторы, жалюзи и остекление с защитными свойствами.

Вопрос № 8. Используемые приборы контроля освещения. В основном, контроль освещения осуществляется при помощи люксметров, которыми, к сожалению, оснащены всего 34 % от общего количества обследованных музеев. Увиметры, колориметры и спектрорадиометры имеются, соответственно, в 4, 3 и 2 % музеев, а централизованная система мониторинга освещения есть только у одного музея. При этом отмечается, что

отсутствие необходимых поверенных приборов обусловлено ограниченным финансированием.

Вопрос № 9. Какими нормативными и/или рекомендательными документами Вы пользуетесь при организации освещения в Вашем музее. Оцените, пожалуйста, их практическую ценность в Вашей работе по 10-бальной шкале. Анализ ответов на этот вопрос показал, что в музеях продолжают использовать, в первую очередь, практическое пособие, выпущенное ГосНИИ реставрации в 1995 г. [5] (38 % музеев) и уже не действующий

Приказ Министерства культуры Российской Федерации от 8 декабря 2009 г. [6] (33 % музеев). Практическая ценность этих документов была оценена по 10-бальной шкале, как, соответственно, 9,3 и 8,3.

Вопрос № 10. Обеспечивают ли, на Ваш взгляд, существующие требования к максимально допустимым уровням освещённости адекватное восприятие и сохранность музейных предметов? Этот вопрос анкеты был призван выяснить, считают ли музеи, что существующие требования к максимально допустимым уровням освещённости обеспечивают адекватное восприятие и сохранность музейных предметов в экспозиционных помещениях, реставрационных мастерских и фондохранилищах. Как следует из данных, представленных на рис. 4–6, большинство опрошенных музеев считают, что существующие требования к максимально допустимым уровням освещённости обеспечивают адекватное восприятие и сохранность музейных предметов в выставочных залах, реставрационных мастерских и фондохранилищах. Однако примерно половина опрошенных либо затруднились ответить на данный вопрос, либо ответили отрицательно, что свидетельствует о необходимости внесения изменений в существующие требования.

Вопрос № 11. Что бы Вы хотели изменить в освещении Вашего музея? В этом вопросе была предусмотрена возможность высказать пожелания



Рис. 7. Освещение залов Государственного Эрмитажа (а), Государственной Третьяковской галереи (б), Государственного исторического музея (в) и Галереи Александра Шилова (г)

Предпочтения в части тональности фона (% от общего количества музеев (90), ответивших на вопрос № 6 анкеты)

	Очень светлый	Светлый	Средний	Тёмный	Очень тёмный
Существующая	7	33	38	19	3
Предпочтительная*	2	22	28	11	2

* 35 % музеев затруднились назвать предпочтительную тональность фона

Таблица 7

Предпочтения в части соотношения между освещенностями фона и экспонатов (% от общего количества музеев (90), ответивших на вопрос № 7 анкеты)

	Намного ниже	Ниже	Примерно одинаковая	Выше	Намного выше
Существующая*	5	25	27	-	-
Предпочтительная**	6	18	13	1	-

* 43 % музеев затруднились назвать существующую тональность фона

** 62 % музеев затруднились назвать предпочтительную тональность фона

в части того, что музеи хотели бы изменить в освещении. В результате оказалось, что:

- 40 % музеев хотят заменить традиционные искусственные источники света, обеспечивающие общее и акцентирующее освещение в выставочных помещениях, на СД. Требуются также светодиодные линейные источники света с индивидуально подобранной цветностью и большой световой отдачей.

- Исключить естественное освещение в выставочных помещениях хотят около 11 % ответивших музеев.

- 30 % музеев хотят заменить искусственные источники света, обеспечивающие общее освещение в фондохранилищах, на СД.

- 18 % музеев хотят заменить искусственные источники света, обеспечивающие акцентирующее освещение в фондохранилищах, на СД.

- Исключить естественное освещение в фондохранилищах хотят около 4 % ответивших музеев.

- 26 % музеев хотят заменить искусственные источники света, обеспечивающие общее освещение в реставрационных мастерских, на СД.

- 19 % музеев хотят заменить искусственные источники света, обеспечивающие акцентирующее освещение в реставрационных мастерских, на СД.

- Исключить естественное освещение в реставрационных мастерских хотят около 1 % ответивших музеев.

Вопрос № 12. Оцените необходимость разработки следующих нормативных документов для проведения контроля и обеспечения условий сохранности музейных предметов в экспозиции и фондах. Из ответов на этот вопрос следует, что музейное сообщество заинтересовано в разработке целого ряда документов, которые содержали бы общие требования по нормированию освещения в музеях. Это:

- ГОСТ Освещение музеев. Общие требования.
- ГОСТ Освещение музеев. Методы измерения светотехнических характеристик.
- Рекомендации по выбору источников света и осветительных приборов для музеев.

Вопрос № 13. Ваши пожелания по нормированию освещения музейных предметов. Из ответов на этот вопрос можно выделить следующие основные предложения:

- Начать формирование стандартов или рекомендаций по нормированию освещения музейных предметов с единой системой измерения светотехнических характеристик и критериями выбора необходимого оборудования, отвечающими современным реалиям.

- Провести экспериментальные исследования для получения объективных данных для обоснования норм освещённости экспонатов.

- Нормировать не только освещённость, но и годовую экспозицию для разных материалов.

- Организовать обучающий семинар для главных хранителей по вопросам нормирования освещения.

3. Результаты измерений

Для уточнения картины современного состояния музейного освещения в Российской Федерации нами были проведены работы по ознакомлению с системами освещения и измерению

их характеристик в Государственном Эрмитаже, Государственном историческом музее, Музее отечественной войны 1812 года, Государственной Третьяковской галерее, Государственном музее изобразительных искусств имени А.С. Пушкина, Галерее Александра Шилова, а также в Храме Святого Николая в Толмачах, являющимся храмом-музеем и домовою церковью при Третьяковской галерее, и во Всероссийском художественном научно-реставрационном центре имени академика И.Э. Грабаря². При этом измерялись следующие параметры:

- освещённость на поверхности экспонатов и в залах, в том числе, полусцилиндрическая;
- коррелированная цветовая температура;

² Предварительные результаты этих исследований были опубликованы в [7]. – Прим. авт.

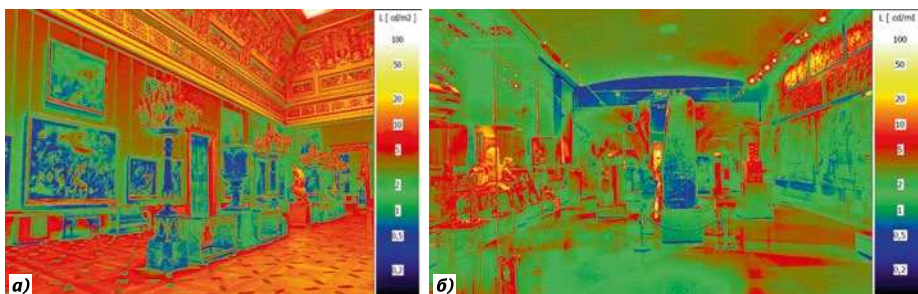


Рис. 8. Представленное в псевдоцветах распределение яркости в залах Государственного Эрмитажа (а) и Государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина (б)



Рис. 9. Освещение иконостаса Храма Святителя Николая в Толмачах: фотография (а) и представленное в псевдоцветах распределение яркости (б)

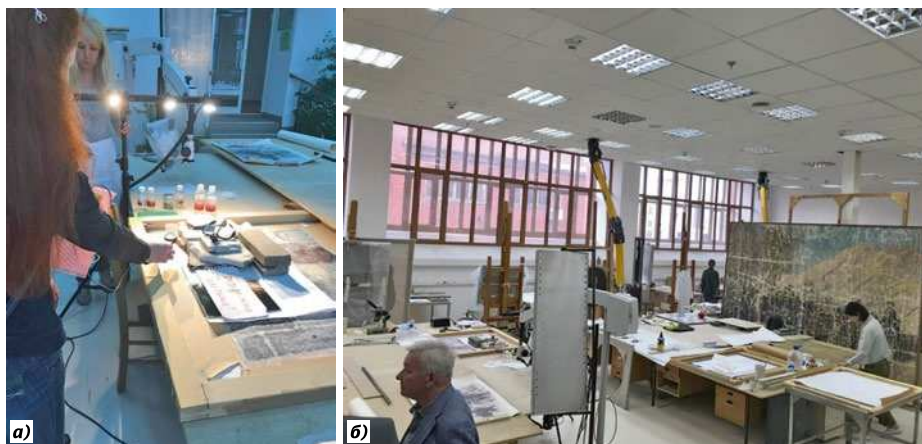


Рис. 10. Освещение рабочего стола реставратора (а) и общее освещение помещения для проведения реставрационных работ (б) Художественного научно-реставрационного центра имени академика И.Э. Грабаря

- общий индекс цветопередачи используемых источников света;
- распределение яркости в поле зрения наблюдателя.

Измерения перечисленных параметров проводились, соответственно, при помощи люксметра-пульсометра ЭкоСфера компании ЭкоЛайт, РФ, и люксметра *LMT Pocket Lux 2* компании *LMT*, Германия, спектрофотометра *UPRtek MK350S* компании *United Power Research Technology Corporation*, Тайвань, и фотояркометра *LMK mobile advanced* компании *LMK*, Германия. На начальной стадии помимо измерений фотометрических величин проводились измерения степени нагрева произведений живописи под воздействием падающего на них излучения, то есть распределения температуры на поверхности картин, которое измеря-

ли при помощи тепловизора *Testo 882* компании *Testo*, Германия, и уровня УФ-излучения которое измеряли при помощи УФ-радиометра «ТКА-АВС» компании ТКА, РФ. Впоследствии эти измерения не проводились по причине ничтожного отличия температуры на поверхности картин от температуры в помещении и пренебрежимо малого по сравнению с предельно допустимым [8] уровня УФ-излучения в результате наличия защитных плёнок на окнах и правильного выбора источников искусственного освещения.

Музеи, в которых было проведено обследование, существенно отличаются друг от друга интерьерами помещений для демонстрации произведений искусства, главным образом, живописи и графики, и, соответственно, системами их освещения. Например, если

Эрмитаж – это комплекс дворцовых помещений, выдающихся по архитектуре и декору, и поэтому сам является произведением искусства, ценнейшим экспонатом, требующим качественного интерьерного освещения, то Третьяковская галерея, Исторический музей и галерея Александра Шилова специально созданы для демонстрации живописи и графики, и естественное освещение в них существенно ограничено или вообще отсутствует (рис. 7).

В результате проведённого обследования было установлено, что в музеях преобладает использование осветительных приборов с ГЛН, после которых идут линейные ЛЛ и КЛЛ. В то же время, наблюдается тенденция к переходу на светильники со светодиодами. Так, в Эрмитаже, являющимся лидером в совершенствовании систем освещения, переход на подобные приборы осуществлён уже более чем для 15000 (25 %) световых точек.

Результаты проведённых измерений показали, что значения средней освещённости на музейных предметах в большинстве обследуемых музеях не превосходят рекомендуемые уровни, а общее распределение яркости в поле зрения наблюдателей реализовано достаточно хорошо (рис. 8). В то же время, в Третьяковской галерее для некоторых картин наблюдается превышение освещённости их отдельных частей из-за неравномерности освещения, тогда как в Эрмитаже и Историческом музее некоторые картины освещены недостаточно. В Музее отечественной войны, где для освещения используются исключительно СД, были выявлены локальные пересветы экспонатов и случаи значительных, до тридцатикратных, перепадов яркости в поле зрения наблюдателя. В Музее изобразительных искусств им. А.С. Пушкина экспозиционное освещение полностью соответствует предъявляемым требованиям, хотя в некоторых случаях уровень освещённости специально завышался для лучшего восприятия картин зрителями.

Следует отметить, что многоплановость коллекций музеев часто значительно затрудняет организацию освещения. В качестве примера можно привести размещённые напротив друг друга контрастирующие по уровню освещения витрины зала № 223 Эрмитажа, в одной из которых представлены стекло и бронза (малочувствитель-

ные к свету экспонаты), а в другой – ажурная ткань (особо чувствительные экспонаты, нормируемая освещённость которых составляет менее чем 50 лк).

Значения коррелированной цветовой температуры искусственного освещения в музеях не превышали 4000–4200 К, тогда как значения общего индекса цветопередачи были, как правило, больше чем 90.

Из общей благоприятной картины выпадает только освещение Храма Святого Николая в Толмачах – помещения с высокими потолками и незатемнёнными окнами без защитной плёнки от УФ-излучения. Искусственное освещение интерьера, отдельных икон и иконостаса осуществляется прожекторами с ГЛН мощностью до 500 Вт, и в дневное время при одновременном воздействии естественного и искусственного света имеет место существенный пересвет икон с образованием бликов (рис. 9). В настоящее время в храме начинается реконструкция освещения, в том числе, с переходом на СД.

В реставрационных помещениях Художественного научно-реставрационного центра имени академика И.Э. Грабаря и Государственного Эрмитажа широко используется естественный свет для более точной передачи цветов и восприятия музейных предметов, с которыми ведутся реставрационные работы. В реставрационном центре для работы с различными по уровню светостойкости предметами применяют разные типы осветительных приборов с разными источниками света, в том числе, со светодиодами, которыми создаётся необходимое для выполнения точных работ освещение, комфортное для реставраторов (рис. 10). Уровни освещённости при работе с живописными произведениями искусства не превышают 300–400 лк.

4. Заключение

Результаты проведённых исследований показали, что в целом освещение музеев в Российской Федерации удовлетворяет действующим на настоящий момент требованиям и рекомендациям и лишь в немногих случаях нуждается в кардинальном изменении. Многие музеи уже используют в качестве источников света светодиоды и готовы целиком перейти на ос-

вещение светодиодами. При этом основной проблемой музеев (в первую очередь, небольшие) считают отсутствие нормативных документов в области музейного освещения. Для решения этой проблемы и облегчения процесса перехода музеев на светодиодное освещение ООО «ВНИСИ» при финансовой поддержке Фонда инфраструктурных и образовательных программ Роснано приступило к разработке серии из двух стандартов и двух предварительных стандартов в области светодиодного освещения музеев. Кроме того, при содействии Министерства культуры Российской Федерации планируется проведение исследований влияния коррелированной цветовой температуры и уровня светодиодного освещения на восприятие музейных предметов и влияния спектрального состава светодиодного экспозиционного освещения на старение музейных предметов, которые позволят расширить базу для нормирования освещения музеев.

Эта работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства культуры Российской Федерации в рамках Государственного контракта № 436–01.1–41/05–18 от 18.05.2018 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахпарунияц А.Г., Розовский Е.И., Черняк А.Ш., Федорищев П.А. Светодиоды в музеях: новые возможности и проблемы // Светотехника.– 2018. – Спец. Выпуск «Свет в музее». – С. 36–39.
2. Рекомендации по проектированию музеев. ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева. М.: Стройиздат, 1988 г.
3. Рекомендации по проектированию искусственного освещения музеев, картинных галерей и выставочных залов. М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект им. Ф.Б. Якубовского, 1992 г.
4. СIE157:2004 «Control of damage to museum objects by optical radiation».
5. Музейное хранение художественных ценностей. Практическое пособие. М.: ГосНИИ Реставрации, 1995 г. – 17 с.
6. Приказ Минкультуры РФ от 8 декабря 2009 г. № 842 «Об утверждении Единых правил организации формирования, учёта, сохранения и использования музейных предметов и музейных коллекций, находящихся в музеях Российской Федерации». Отменён Приказом от 11 марта 2010 г. № 116.
7. Черняк А.Ш., Кузнецова А.Б., Барцева А.А. Измерение параметров освещения залов и экспонатов Государственного Эр-

митажа и Государственной Третьяковской галереи // Светотехника.– 2018. – Спец. Выпуск «Свет в музее». – С. 45–49.

8. Баев С.С., Кузьмин В.Н., Томский К.А. Исследование воздействия оптического излучения на материалы музейных экспонатов и требования к измерительным приборам // Светотехника.– 2018. – Спец. Выпуск «Свет в музее». – С. 50–55.



Барцева Александра Алексеевна. Окончила МЭИ (2013 г.). Инженер ВНИСИ им. С.И. Вавилова



Боос Георгий Валентинович, кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1986 г. МЭИ. Президент и член Совета директоров МСК «БЛ Групп». Зав. кафедрой светотехники НИУ «МЭИ». Лауреат

Государственной премии РФ. Председатель редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»



Черняк Анатолий Шахнович, окончил МЭИ (1962 г.). Заведующий лабораторией техники освещения и световых приборов ВНИСИ им. С.И. Вавилова



Кузнецова Алёна Борисовна. Окончила МЭИ (2011 г.). Старший научный сотрудник ВНИСИ им. С.И. Вавилова. Аспирант



Розовский Евгений Исаакович, кандидат техн. наук (1984 г.). Окончил МЭИ (1971 г.) Ведущий научный сотрудник ВНИСИ им. С.И. Вавилова. Старший научный редактор журнала «Светотехника». Эксперт от РФ в ТК

34 МЭК «Источники света и сопутствующее оборудование»

Усовершенствование освещения майолики на станции «Комсомольская-радиальная»

А.Э. ГУЛИЕВ

МСК «БЛ ГРУПП», Москва
E-mail: gul.ae@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена решению одной из важных проблем восприятия декоративной составляющей архитектурного оформления станций метрополитена – борьбе с бликами от осветительных приборов на глянцевых мозаиках и майоликах.

Проанализирован ряд приёмов освещения, снижающих яркость бликов. Их эффективность показана на примере освещения майолики «Прокладка шахты» (по эскизам Е. Лансере) на станции «Комсомольская-радиальная» Московского метрополитена.

Изложенное в статье касается не только станций метрополитена, но и любых помещений, содержащих зеркальные или глянцевые поверхности.

Ключевые слова: Московский метрополитен, станция «Комсомольская-радиальная», осветительные приборы, светодиоды, майолика, глянцевая поверхность, блик, яркость, контраст.

Для Московского метрополитена проявление бликов весьма характерно из-за богатства украшения станций разными панно, мозаиками и фресками, выполненными из полированного мрамора, майоликовых, смальтовых изразцов и т.д. Блик – световое пятно на сильно освещённой выпуклой или плоской глянцевой поверхности. Он возникает вследствие зеркального или зеркально-диффузного отражения излучения яркого ОП на предмете.

Известно, что избавиться от бликов при больших зеркально отражающих поверхностях и обилии ОП, зачастую также являющихся элементами декора, практически невозможно. Тем не менее уровень яркости бликов в первичном исполнении станций был существенно ниже. Во всяком случае в литературных источниках проблема наличия бликов не обозначена [1, 2], что, скорее всего, связано с низким общим уровнем освещения первых станций метро. Проявилась же она после первой модернизации освещения,

проведённой в 60-х гг., для повышения энергоэффективности и уровня освещения, бесспорно тёмных станций путём замены ЛН на ЛЛ. При этом яркость ОП возросла в разы, и на глянцевых поверхностях появились блики, которые стали мешать аутентичному восприятию станции и сводить на нет усилия архитекторов, художников, светотехников, работавших над её созданием. Учитывая, что сегодняшний уровень освещения подавляющего большинства станций не соответствует современным нормам [3], негативность влияния бликов на комфортность восприятия декора лишь растёт.

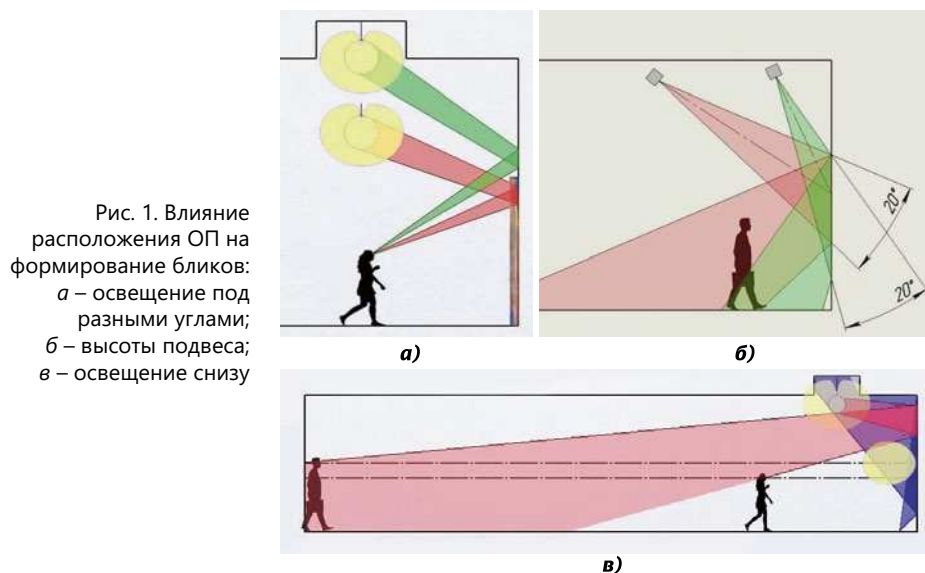
Работа зрительного аппарата человека носит адаптивный характер. При этом на восприятие зрительной обстановки влияет распределение яркости в поле зрения [4], а блики, в разы превосходя по яркости своё окружение, мешают этому восприятию.

Очевидно, один из важнейших факторов восприятия изображений фрески, мозаики или майолики, особенно при их искусственном освещении, – взаимное расположение наблюдателя относительно объекта и освещающего объект ОП. При идеальном освещении положение наблюдателя, как правило, определяется только компо-

зицией изображения, однако чаще всего ОП «вмешиваются» в этот процесс, создавая на рассматриваемой поверхности бликующие участки, и чем их больше, тем ниже качество освещения. В результате наблюдатель, перемещаясь относительно арт-объекта, определяет положение, при котором влияние ОП на его восприятие минимально. Поэтому – особенно это касается больших арт-объектов, при освещении которых полностью избавиться от бликов в условиях метро практически невозможно – очень важно минимизировать их влияние при наблюдении. Таким образом, наряду с пространственным светораспределением ОП, важнейшими характеристиками ОП, «ответственными» за блики, являются геометрические соотношения, определяющие взаимное расположение ОП и объекта, а также характеристики поверхности объекта, отражающего излучение ОП. При этом следует помнить, что яркость не зависит от расстояния; и поэтому, например, если перенести ОП дальше от панно, которое он освещает, то площадь блика уменьшится, но его яркость останется неизменной [5].

Способы борьбы с бликами

У диффузно-глянцевых поверхностей, таких как мозаики и майолики, индикатриса отражения состоит из диффузной и зеркальной составляющих. При освещении этих поверхностей следует стремиться к тому, чтобы наблюдатель видел только диффузную составляющую. Для этого нужно определять возможные положения на-



блюдателя и условия его восприятия картины или мозаики, т.е. угол наблюдения, при котором наблюдатель видит блики той или иной площади и уровень их яркости.

Если у формирующего блик ОП светораспределение узкое, характерное для ОП прожекторного типа с зеркальными отражающими поверхностями, то угол падения излучения должен быть максимально большим; при таком приёме освещения зеркальная составляющая отражённого излучения попадает в пол, а не в глаза наблюдателя (рис. 1, а). Если же светораспределение ОП широкое, свойственное диффузно рассеивающим оптическим элементам (например, матовым рассеивателям), по возможности, нужно повышать высоту подвеса ОП так, чтобы свет его не отражался в мозаике (рис. 1, б).

Анализ ситуаций с формированием бликов выявляет несколько основных подходов к борьбе с бликом: 1) наиболее радикальный, полностью исключая его визирование, – изменением хода лучей путём освещения объекта снизу; 2) снижение яркости блика; 3) повышение яркости адаптации; 4) изменение положения блика относительно основного изображения; 5) уменьшение размеров блика.

Первый подход, реализуемый с помощью дополнительных светильников, расположенных снизу [6] (рис. 1, в), обеспечивает падение зеркальной составляющей отражаемого пучка на потолок, при том, что диффузная составляющая, отражаемая панно, повышает его яркость и, соответственно, яркость адаптации, делая этим блик менее заметным или вообще его устраняя. Естественно, этот подход предполагает использование ОП с высоким уровнем защиты от механических повреждений. Кроме того, такое расположение ОП значительно сокращает полезную площадь станционного пространства. К сожалению, перечисленные факторы не позволяют использовать этот подход (один из самых эффективных по устранению бликов) в метрополитене.

Второй подход реализуем, когда ОП, освещающий, например, панно, имеет асимметричное светораспределение, являясь «кососветом» [7], или обладает пониженной яркостью со стороны панно.

Третий подход осуществим путём переноса акцента освещения, напри-

мер расположением ОП внутри колонны, как это сделано при освещении мозаики на станции «Проспект Мира» Кольцевой линии (рис. 2)

Четвёртый подход, как правило, требует изменения расположения ОП относительно объекта освещения, что в ряде случаев оказывается вполне приемлемым.

Наконец, пятый подход реализуется заменой применяемого ОП на новый другой конструкции или существенным изменением расстояния до освещаемого объекта, что при реконструкции ОП на объектах культурного наследия не допускается.

Борьба с бликами на «Комсомольской-радиальной»

«Комсомольская-радиальная» была первой станцией, где для архитектурного декора использовано композиционно законченное художественное произведение – панно, выполненное по эскизам Е.Е. Лансере [8] на тему «участие комсомола в строительстве метро» (задумывалось четыре, выполнено только одно). Несущим основанием панно послужила полуцилиндрическая стена северного аванзала. В качестве материала выбрана цветная майоликовая плитка, выполненная подглазурованными красками и покрытая слоем прозрачной глазури, которая после обжига придаёт блеск и яркость цветовому решению.

А поскольку поверхность майолики глянцевая (средний коэффициент



Рис. 2. Освещение мозаики в вестибюле станции «Проспект Мира» Кольцевой линии

отражения 0,2, коэффициент зеркального отражения 0,05), в ней отражается свет находящихся рядом ОП, образующих достаточно яркие блики на фрагментах фигур, делающие невозможным общее восприятие композиции. Устранение этих бликов или по меньшей мере снижение их влияния на восприятие майолики (рис. 3), по сути, и послужило основной задачей этой работы.

Из рис. 4 видно как выглядит майолика с бликами и без.

При этом надо отметить, что нынешний облик станции весьма отличен от первоначального по уровню освещения пола: освещённость была ~ 50 лк, а сегодня стала ~ 150 лк, что всё равно не дотягивает до современных требований (200 лк) [1], как и качество цветопередачи ($R_a < 80$), из-за исполь-



Рис. 3. Северный аванзал станции метро «Комсомольская-радиальная»

Технические характеристики яркомера


Наименование	LMK Mobile Advanced
Внешний вид	
Разрешение (эффективные пиксели)	2136×1424
Диапазон измерений яркости, кд/м ²	0,1–10000
Допускаемая относительная погрешность измерений, %	± 5
Номер в государственном реестре средств измерений	55241–13



Рис. 4. Внешний вид майолики: а – левая часть с бликами; б – левая часть без бликов; в – правая часть с бликами; з – правая часть без бликов

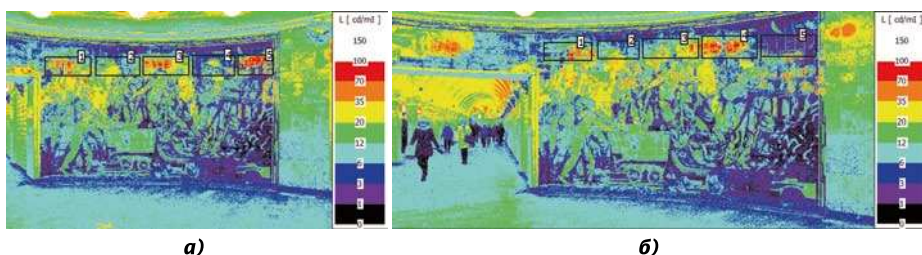


Рис. 6. Распределение яркостей по правой части майолики, наблюдаемой из точек «Б» (а) и «В» (б)

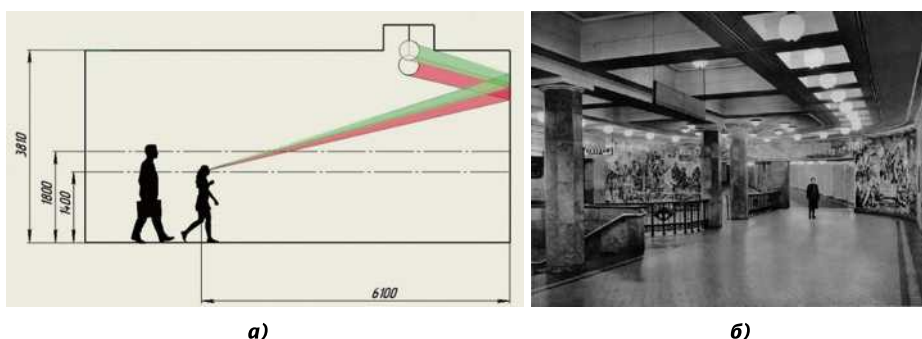


Рис. 7. Схема изменения положения и размера блика: а – геометрические размеры; б – фото аванзала станции «Комсомольская-радиальная» (1935 г.)

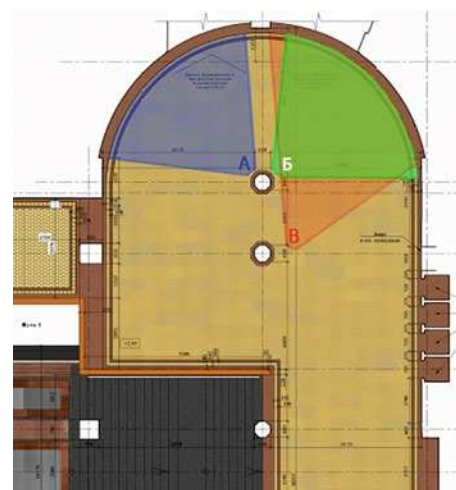


Рис. 5. Характерные точки наблюдения майолики

зования ЛЛ¹. Вот здесь то и возникнет главное противоречие – современные санитарные нормы требуют большего освещения пола аванзала, но это даст повышение яркости бликов. Более того, проведение реконструкции по требованию метрополитена должно осуществляться в рамках сохранения объектов культурного наследия, а это означает, что освещать станцию можно исключительно ОП, идентичными оригинальным ОП 1935 г. [10], вследствие чего заменять можно только ИС, а рассеиватель (плафон) ОП должен оставаться неизменным.

Очевидно, что разрешение названных противоречий требует разработки принципиально новой ОУ, создание которой потребовало проведения экспериментальных исследований, необходимых для расчётов соотношений яркостей бликов на майолике и яркости самой майолики, на которой они визируются.

Экспериментальные исследования

Определение соотношений яркостей бликов на майолике и самой майолики осуществлялось посредством яркомера *LMK Mobile Advance* [9], построенного на базе фотокамеры фирмы *Canon* (табл. 1). Этот прибор также позволяет получать наглядную картину распределения яркостей в поле зрения, а его программное обеспечение – обрабатывать результаты измерения (определять яркость в точке или среднюю яркость определённой области,

¹ Да и состояние ОУ требует её новой реконструкции на современном уровне.

выводить изображение в псевдоцветах и др.). Таким образом, с помощью всего нескольких снимков можно получать всю нужную нам информацию.

Измерения проводились из характерных видовых точек «А», «Б» и «В», расположенных рядом с колоннами (рис. 5). Результаты измерений (рис. 6 и табл. 2) показывают, что яркость блика в 3–10 раз выше яркости соседней области.

Устранение блика

Геометрические расчёты показывают, что положительные результаты даёт увеличение высоты подвеса ОП (рис. 7, а). Это возможно, т.к. изначально ОП висели выше, чем сейчас (в 1935 г. [6, 8] ОП наполовину находились в кессонах (рис. 7, б)), и их верхняя часть заслонялась кессоном. В результате блик уменьшится на 4 см и сдвинется вверх на 20 см, а кессон приобретёт чёткие очертания. Перемещение области блика положительно скажется на восприятии майолики, так как блик переместится из сюжетной области, с изображёнными метростроевцами, в менее важную область фона (рис. 7, а и 8).

Выбор точек обзора

Как уже отмечалось, убрать полностью блик для всех точек обзора практически невозможно, поскольку в зависимости от положения наблюдателя блик меняет своё положение, но можно существенно снизить яркость блика при просмотре из части вестибюля (рис. 5).

Геометрические расчёты (рис. 9) показывают, что при просмотре майолики из изображённых точек видно отражение излучения сегмента ОП шириной 180–190°. Если снижать яркость этой части ОП, яркость блика будет ощутимо падать.

Конструкция ОП

Полученные данные позволяют сформулировать принцип построения конструкции ОП (рис. 10): в рассеиватель из молочного стекла устанавливается радиатор в виде треугольной призмы, и на две стороны радиатора устанавливаются СД модули с удалённым люминофором. Такие модули обладают хорошими количественными и качественными показателями (световая отдача 111,5 лм/Вт, $R_a > 80$, косинусное светораспределение, отсутствие (рис. 11) характерного для люминофорных СД ярко выра-



Рис. 8. Требования к расположению бликов на майолике. Выделенное зелёным и красным – области, где допустимо и недопустимо наличие бликов соответственно

Рис. 9. Геометрические построения для определения сегмента светильника, создающего блик: а – точка наблюдения 1; б – точка наблюдения 2

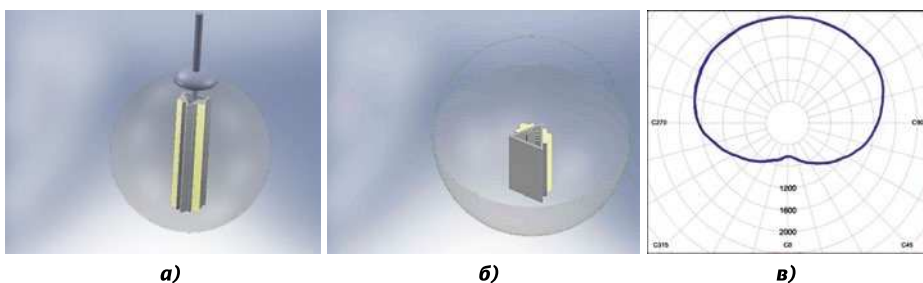
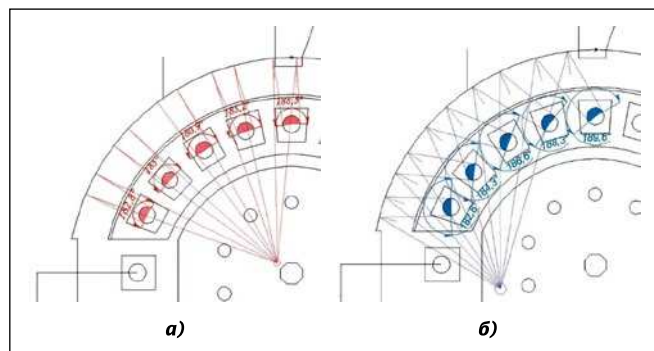


Рис. 10. Модернизированный ОП: а – конструктивная схема; б – схематичное горизонтальное сечение; в – горизонтальное сечение относительного фотометрического тела

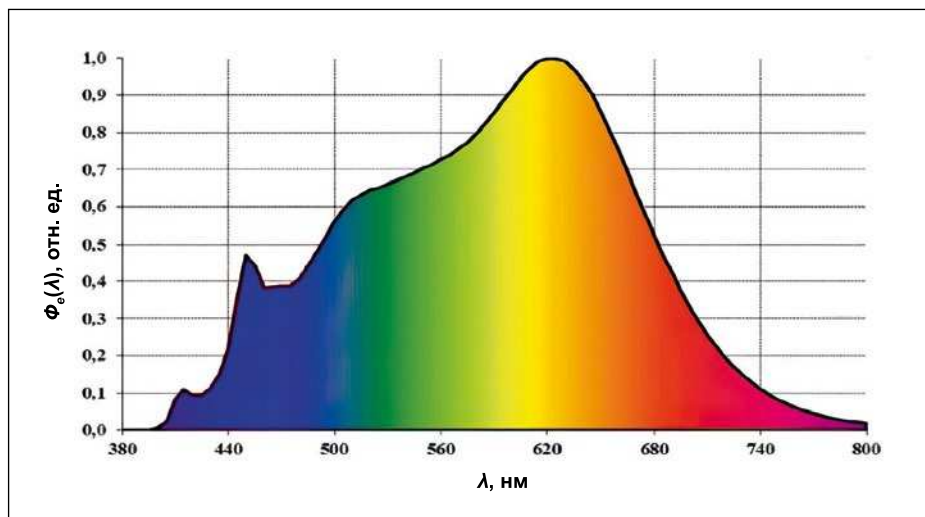


Рис. 11. Относительный спектр излучения используемых СД модулей с удалённым люминофором

женного пика в сине-голубой части спектра [11]). При этом одна половина шарового рассеивателя освещается СД модулями, а другая – только за

тремя (световая отдача 111,5 лм/Вт, $R_a > 80$, косинусное светораспределение, отсутствие (рис. 11) характерного для люминофорных СД ярко выра-

Значения яркости в разных областях майолики при измерениях из точек «Б» и «В»

Область / рисунок		Яркость, кд/м ²		
		минимальная	максимальная	средняя
1	рис. 6, а	0,1	131,6	22,6
2		1,1	67,3	13
3		1,1	94,5	26,2
4		0,2	93,6	8,7
5		0	112,8	29,8
1	рис. 6, б	0,2	108,3	19,2
2		0,8	86,5	10,5
3		0,5	93,0	17,7
4		0,2	129,5	28,9
5		0,1	66,8	5,6

Таблица 2

счёт многократных отражений внутри рассеивателя. Принцип работы такого светильника понятен из рис. 10, а.

Расчёты в программе «*Photopia*» [12] показывают, что ОП предлагаемой конструкции будет обладать асимметричным светораспределением. Для проверки этой гипотезы были смоделированы, в программе «*Dialux Evo 7*», действующая и модернизированная ОУ. Для каждой модели методом трассировки лучей было рассчитано распределение яркости по майолике, показавшее, что за счёт использования ОП с асимметричным светораспределением можно вдвое снижать яркость бликов и «сдвигать» блики вверх (путём увеличения высоты подвеса ОП) в зону, где они не мешают прочтению композиционного решения.

Результаты моделирования и сравнение их с результатами измерений яркости из точки «А» приведены на рис. 12 и в табл. 3.

Заключение

В результате исследования распределения яркости по майолике установлено, что:

- источниками бликов являются рассеиватели ОП, которые отражаются от глянцевой поверхности панно в технике майолики;
- яркость бликов достигает 142 кд/м² при средней яркости майолики 10–15 кд/м²;
- в зависимости от положения наблюдателя блики находятся на высоте от 2 до 3,5 м, чем закрывают сюжетную часть композиции.

По результатам анализа причин, вызывающих блики:

- сформулированы требования к расположению ОУ и конструкции ОП;
- разработана модель и проведено моделирование распределения яркости по поверхности майолики путём трассировки лучей в программе «*Dialux Evo 7*».

Несмотря на то, что полностью устранить блики не удалось, разработанная ОУ позволит уменьшать яркость (вдвое) и размер бликов и перемещать их из сюжетной зоны в зону фона, что благоприятно сказывается на прочтении композиционного замысла майолики.

Изложенный в статье подход применим не только к станциям метрополитена, но и к другим помещениям,

Значения яркости в разных областях майолики при измерениях из точки «А»

Область	Яркость, кд/м ²		
	минимальная	максимальная	средняя
1	8,4	92,4	33,2
2	4,2	65	18,6
3	1,5	84,7	23,3
4	1,8	49,6	9,8
5	1,5	80	25

Таблица 3

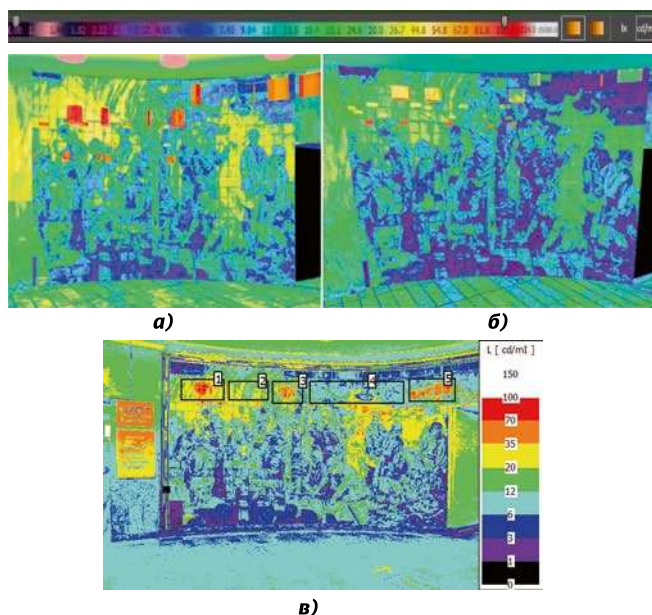


Рис. 12. Моделирование ОУ в программе «*Dialux Evo 7*»: а – действующей; б – новой; в – результаты измерений яркости из точки «А»

содержащим зеркальные или глянцевые поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродский Л. Свет в метро // Архитектурная газета. – 1935. – 28 апреля. – С. 3.

2. Бродский Л. Освещение станций метро // Архитектура СССР. – 1938. – № 9. – С. 11–17.

3. СП 2.5.1337–03 «Санитарные правила эксплуатации метрополитенов» (в редакции Изменений и дополнений № 1 от 30.04.2010., № 50).

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

5. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебное пособие для вузов. Ч 1.-2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.

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

7. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. – М.: Энергия, 1973. – 360 с.

8. Катцен И. Метро Москвы. – М.: Московский рабочий, 1947. – 178 с.

9. Приложение к свидетельству № 52728 об утверждении типа средств измерений.

10. Горбачёв Н.В., Ратнер Е.С. Освещение московского метро // Светотехника. – 1935. – № 1. – С. 2–13.

11. Вейнерт Дж, Сполдинг Ч. Светодиодное освещение. Справочник. Принципы работы, преимущества и области применения. – Изд. Philips Color Kinetics, 2010. – 156 с.

12. URL: <http://www.ltioptics.com/en/photopia-general-2017.html> (дата обращения: 30.04.2019).

13. Шурыгина Н.В. Освещение новых станций московского метро // Светотехника. – 2015. – № 3. – С. 14–21.



Гулиев Александр Эльшанович, магистр по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» и программе «Теоретическая и прикладная светотехника» (2019, НИУ «МЭИ»). Аспирант НИУ «МЭИ» (направление «Электро- и теплотехника»). Специалист по светотехнике МСК «БЛ ГРУПП»

НИУ «МЭИ»). Аспирант НИУ «МЭИ» (направление «Электро- и теплотехника»). Специалист по светотехнике МСК «БЛ ГРУПП»

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2020 ГОДУ (I квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
11–13.02	Strategies in Light Международная конференция с выставкой по светодиодам и освещению светодиодами	Сан-Диего, Калиф., США lightsearch.com
24–26.02	LED China Shenzhen Международная выставка светодиодных технологий	Шеньчжень, КНР lightsearch.com
08–13.03	Light + Building Международная торгово-промышленная выставка с конференцией по осветительным технологиям и интеллектуальным зданиям	Франкфурт-на-Майне, ФРГ lightsearch.com
18–20.03	Энергетика и электротехника - 2020 27-я Международная специализированная выставка	Санкт-Петербург, РФ exponet.ru

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества



interlight
RUSSIA

intelligent building
RUSSIA

Влияние освещения на выбор направления движения посетителей в музеях¹

А. ЧЕВИК¹, Т. КАЗАНАСМАЗ, Н.Е. ДЮРАН

Измирский технический институт, Измир, Турция

¹ E-mail: aslihancevik@iyte.edu.tr

Аннотация

Освещение выставочных пространств, как и других интерьеров, следует изучать в целях улучшения обеспечиваемых им качества зрительного восприятия и комфорта. В данном исследовании рассмотрены субъективные оценки восприятия выставочных пространств и создаваемого ими впечатления, что позволит расширить наши знания в этой области. Из-за противоречащих друг другу вариантов выбора экспозиционного освещения и неуправляемого прогресса в этой области, в большинстве случаев от естественного освещения стараются отказаться, и при этом часто пренебрегают как мнениями посетителей, так и связью между количественными и качественными характеристиками освещения. В рамках данного исследования несколько типичных выставочных пространств с естественным или искусственным освещением были смоделированы в виртуальном пространстве при помощи программы *Lumion* для последующей оценки этих пространств посредством трёхступенчатого опроса. В опросе приняли участие 90 человек, относящихся к трём группам (архитекторы, посетители и творческие работники ((скульпторы, художники и кураторы выставок)). Участники перемещались внутри модели, и их предпочтения в части направления движения и восприятия оценивались с использованием вопросника. Целью исследования являлась статистическая оценка влияния типа освещения на выбор маршрута движения по выставке и связь между типом освещения и несветотехническими характеристиками. Полученные результаты показали, что естественное освещение участники сочли предпочтительным преимущественно в случае скульптур, тогда как в случае картин предпочтительным оказалось искусственное освещение. Выбор на-

правления движения в сторону естественного света становится более частым в переходных зонах и к концу выставки. Выбор направления движения сильно зависит от профессии: архитекторы предпочитали двигаться в сторону естественного освещения, тогда как творческие работники предпочитали искусственное освещение.

Ключевые слова: освещение музеев и галерей, выставка, навигация, искусственный свет, естественный свет.

1. Введение

Выставочная деятельность невозможна без света. При проектировании освещения выставочных пространств необходимо учитывать многочисленные количественные и качественные параметры. Выбор освещения в значительной степени воздействует на восприятие выставки в целом, влияя как на качество демонстрации и восприятие экспонатов, так и на атмосферу в выставочных помещениях. Характеристики пространства и объектов также влияют на выбор освещения и восприятие [1], что делает уникальным каждый проект выставочного освещения. Кроме того, важность того или иного фактора зависит от конкретного объекта. Из-за подобной уникальности экспонатов многие галереи и музеи исповедуют «хаотический» подход к освещению [2]. Однако если понять предпочтения работников музеев в части выбора освещения и их связь с такими факторами, как тип выставки и источники света, то можно сформулировать некоторые общие рекомендации.

Выставочная деятельность – это разносторонний процесс, и приоритеты в части освещения и мотивация его выбора могут изменяться в зависимости от профессии. Для людей, связанных с консервацией музейных предметов, основным фактором является их сохранность, тогда как для архитекторов главным является каче-

ство внутреннего пространства, а для творческих работников (скульпторов, художников и кураторов выставок) – художественная выразительность экспонатов [2, 3]. Эти подходы необходимо сбалансировать, выработав для этого соответствующие руководства. Подобные руководства существуют, но при этом проектировщики освещения и кураторы выставок со временем вырабатывают свои собственные подходы к освещению, исходя из опыта, накопленного методом проб и ошибок [4, 5]. Это приводит к несогласованности, которую в других областях сочли бы вредной. Игнорируется даже основная цель, а именно, обеспечение должного восприятия выставки посетителями и удовлетворение их ожиданий, хотя осознание этой цели полезно для создания интерактивного и органичного проекта освещения. Кроме того, с каждым годом увеличивается объём неопубликованных данных, требующихся для понимания и развития музейного освещения [2].

Ещё одним противоречивым моментом является естественное освещение. Его избегают главным образом из соображений консервации музейных предметов, связанных, например, с УФ излучением. Хотя разрушающее действие света зависит от типа материала, солнечный свет является вредным для любых материалов. Что касается зрительного комфорта и качества освещения, то прямой солнечный свет и блёккость неприемлемы в любых условиях. Управление естественным освещением считают слишком трудоёмким и рискованным из-за динамического характера этого освещения [6, 7]. С другой стороны, отказ от естественного освещения выставочных пространств нельзя считать малозначимым, так как энергосбережение следует обеспечивать независимо от предназначения здания. Несмотря на сложившееся в отрасли негативное или безразличное отношение, проводятся многочисленные исследования, посвящённые достоинствам естественного освещения в части качества зрительного восприятия, удовлетворённости посетителей и экологичности, и содержащие варианты соответствующих проектных решений [8]. Кроме того, реакция на свет зависит от формы выставочного пространства и типа выставки, и достоинства естественного освещения следует оценивать для разных условий.

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского.

Следует изучить и психологическое воздействие света, особенно, применительно к перемещению по выставке (навигации). Освещённые участки привлекают внимание, и люди демонстрируют тенденцию к движению в их сторону [9]. В большинстве случаев посетители выбирают одно, наиболее эффективное направление перемещения по выставке, однако свет можно использовать для управления этим перемещением. Хотя всесторонние исследования в этой области и не проводились, можно обратиться к исследованиям в области освещения магазинов [10]. Аналогично освещению магазинов, на выставках имеются как точки, требующие фокусирования внимания, так и участки, позволяющие посетителям расслабиться и не так уставать от непрерывной сосредоточенности. Поэтому освещение не должно быть монотонным и постоянно интенсивным. Обычным способом обеспечения этого является разделение выставки на зоны, между которыми располагаются освещённые по-другому переходные зоны, такие как фойе, коридоры и т.д. [1, 8]. Естественное освещение можно использовать для нейтрализации эффекта лабиринта и направления посетителей. Характеристики естественного освещения, зрительная связь с окружающим пространством и раскрытие формы могут сформировать внутренне-наружную динамику (*in-and-out dynamism*) [11]. Связь между освещаемыми по-разному участками следует тщательно проектировать. Целью этого исследования, сфокусированного главным образом на перечисленных выше вопросах, состояла в том, чтобы с разных сторон рассмотреть выбор освещения применительно к выставочным пространствам. При этом исследовалось влияние на предпочтения посетителей типа освещения и многих других параметров, таких как выставочное пространство и тип экспозиции.

2. Метод

2.1. Виртуальная модель

Для выявления условий, влияющих на предпочтения участников в части освещения, проявляющиеся в виде выбора направления движения по выставке, использовались несколько виртуальных выставочных помеще-

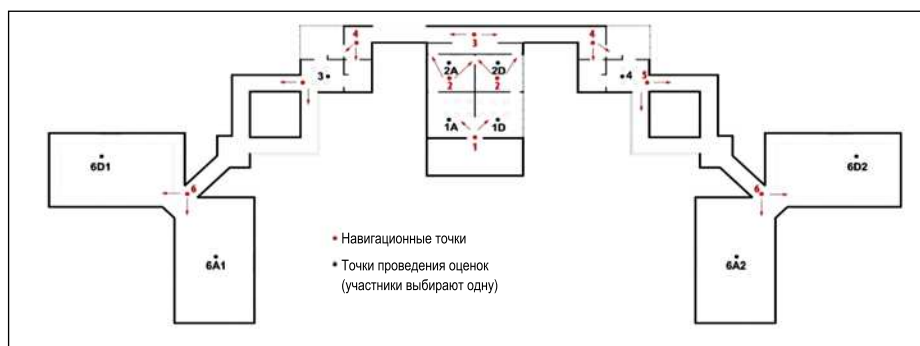


Рис. 1. План выставочного пространства

ний. Модель была сформирована при помощи пакета программ *ArchiCAD* (рис. 1). Выставочные пространства были сформированы таким образом, чтобы получить шесть вариантов пространств (табл. 1, рис. 2), которым соответствуют обозначенные на рис. 1 чёрным цветом точки проведения оценок 1A, 1D, 2A, 2D, 3, 4, 6A и 6D, и переходные зоны. Эти переходные зоны, такие как коридоры, использовались для локализации обозначенных на рис. 1 красным цветом навигационных точек 1, 2, 3, 4, 5 и 6, в которых

участники выбирали, в какое помещение они направятся. Идентичные, если не считать источники света, выставочные пространства располагались рядом, предоставляя возможность выбора для получения однозначного результата на каждом этапе.

Сформированная модель была импортирована в программу *Lumion 6.0*, обеспечившую визуализацию для перемещения по модели в реальном масштабе времени. При этом в модель были включены скульптуры и картины. Точечные светильники типа

Таблица 1

Классификация рассмотренных помещений

Выставочные пространства	Размеры пространства	Экспонаты	Источник света
1A	Среднее	Скульптуры	Искусственный
1D			Естественный
2A		Картины	Искусственный
2D			Естественный
3	Маленькое	Скульптуры	И то, и другое
4			
6A	Большое	И то, и другое	Искусственный
6D			Естественный



Рис. 2. Оценивавшиеся выставочные пространства

spotlight (далее – точечные светильники) были установлены для искусственного освещения конкретных участков (обозначенных буквой «А»), тогда как участки с естественным освещением (обозначенные буквой «В») освещались солнечным светом. В выставочном пространстве *D* был использован светящийся материал потолка, что позволило имитировать световой фонарь. Все точечные светильники имели одни и те же коррелированную цветовую температуру, яркость и угол излучения.



Рис. 3. Виды из навигационных точек

2.2. Вопросник

Был подготовлен вопросник, разделённый на три этапа. На первом этапе участники в 6-ти навигационных точках выбирали, по какому пути они продолжают движение (рис. 3). В этих точках они должны были выбрать, в сторону какого участка – с естественным или искусственным освещением – они предпочтут двигаться. Соответствующий выбор обозначался словами «направо» или «налево» (рис. 2). Выбор искусственного или естественного освещения регистрировался, соответственно, как 1 и 2.

На втором этапе участники выбрали приглянувшееся им выставочное пространство и отвечали по 5-балльной (от 1 до 5) шкале Ликерта на 11 вопросов касающихся этого пространства (рис. 4). Первый вопрос, касающийся отождествления типа источника света, позволял оценить зрительную адекватность программы *Lumion*. При ответах на вопросы 2–9 участники должны были оценить как демонстрацию экспонатов, так и выставочное пространство. Так как при оценке коррелированной цветовой температуры человеческое восприятие обманчи-

во [6], то вопрос 10 был задан специально для того, чтобы выявить связь между характеристиками помещения и света применительно к восприятию коррелированной цветовой температуры. Вопрос 11 предназначался для оценки степени предпочтительности рассматриваемых пространств. На заключительном этапе участники должны были из заданных на втором этапе вопросов (1–11) выбрать три, которые они считают самыми важными для оценки освещения.

В опросе приняли участие 90 жителей г. Измира. В соответствии со своими профессиями, участники были разделены на три группы: 30 архитекторов (включая студентов), 30 творческих работников (скульпторы, художники и кураторы выставок) и 30 посетителей (другие профессии). Участники были разделены на эти три группы для того, чтобы понять предпочтения в выборе освещения и их причины именно для этих групп. Так как ответы на вопросы являются сугубо личными и интерактивными, что обусловлено возможностью выбора между разными вариантами и управления виртуальным простран-

ством, то участники отвечали на вопросы по одному. Опрос проводился на протяжении трёх месяцев, причём в качестве переменных рассматривались как условия освещения, реализованные применительно к вопроснику, так и персональные данные и возможные дефекты зрения. В опросе приняли участие 59 женщин и 31 мужчина в возрасте 17–25 (33 %), 26–35 (37 %) и 36–75 (30 %) лет.

2.2. Статистический анализ

Для анализа полученных данных были использованы обычный метод наименьших квадратов, дисперсионный анализ, *t*-тест, и линейная регрессия (рис. 5). Применительно к первой части вопросника был использован метод линейной регрессии, позволивший установить наличие значимых связей между типом источника света и выбором направления движения. В дальнейшем, результаты, соответствующие разным профессиональным группам, анализировались по отдельности.

Ответы на вторую часть вопросника анализировались двумя разными ме-

Таблица 2

Средние значения (*M*) и среднеквадратические отклонения (*S*) результатов, полученных на всех этапах, и результаты дисперсионного анализа (*P*-значения)

Этап	1		2		3		4		5		6		Дисперсионный анализ
	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>S</i>	
Выбор													<i>P</i> -значение
Все группы	1,49	0,50	1,44	0,50	1,64	0,48	1,56	0,50	1,70	0,46	1,57	0,50	0,005
Архитекторы	1,50	0,51	1,43	0,50	1,67	0,48	1,67	0,48	1,73	0,45	1,57	0,50	0,15
Посетители	1,57	0,50	1,50	0,51	1,70	0,47	1,53	0,51	1,77	0,43	1,57	0,50	0,238
Творческие работники	1,40	0,50	1,40	0,50	1,57	0,50	1,47	0,51	1,60	0,50	1,57	0,50	0,448

Навигационные точки		1	2	3	4	5	6
Направо		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Налево		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Выберите выставочную зону		1	2	3	4	5	
Тип освещения	1 – естественное	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	искусственное
Демонстрация экспонатов	2 – разрозненное	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	целостное
	3 – чёткое	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	нечёткое
Качество пространства	4 – тусклое	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	яркое
	5 – унылое	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	привлекательное
	6 – напрягающее	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	расслабляющее
	7 – жёсткое	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	мягкое
	8 – некомфортное	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	комфортное
	9 – несбалансированное	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	однородное
10 – Насколько приятна КЦТ? (обведите выбранный вариант кружком)		Слишком тёплая <input type="checkbox"/>	Тёплая <input type="checkbox"/>	Отличная <input type="checkbox"/>	Холодная <input type="checkbox"/>	Слишком холодная <input type="checkbox"/>	
11 – Зрительное восприятие качества пространства в целом?		Очень плохое <input type="checkbox"/>	Плохое <input type="checkbox"/>	Приемлимое <input type="checkbox"/>	Хорошее <input type="checkbox"/>	Очень хорошее <input type="checkbox"/>	

Рис. 4. Вопросник, этапы 1 и 2

тодами, и было проведено сравнение полученных результатов анализа. Применительно к *t*-тесту были сформированы 5 пар, что позволило упростить оценку различий между пространствами. Метод наименьших квадратов использовался для выявления уместности применения тех или иных критериев оценки к различным выставочным пространствам. Уместность каждого из критериев анализировалась применительно к оценивавшимся помещениям (табл. 1), из которых в целях правильного применения метода наименьших квадратов были исключены выставочные пространства 3 и 4. Важность критериев оценивалась посредством попарного сравнения помещений с использованием *t*-теста. Аналогичные результаты, полученные при использовании других методов анализа, упоминаются в разделе 4.

3. Результаты

3.1. Навигация

Различия в выборе направления движения имели место в каждой навигационной точке (табл. 2 и рис. 4). В столбцах табл. 2 приведены усреднённые результаты выбора направ-

ления движения для всех трёх групп в целом, а также для групп, состоящих из архитекторов, творческих работников и посетителей. Выбор направления движения в сторону естественного или искусственного освещения приводит, соответственно, к увеличению или уменьшению усреднённого результата. Если приведённое в табл. 2 среднее значение ближе к 1, то имеет место тенденция к выбору направления движения в сторону искусственного освещения, а если среднее значение лежит в интервале от 1,5 до 2, то предпочтительным оказывается дви-

жение в сторону естественного освещения. В навигационных точках 1–6 участники предпочитали двигаться в сторону искусственного освещения в, соответственно, 51, 56, 36, 44, 30 и 43 % случаев. Результаты дисперсионного анализа, проведённого применительно ко всем участникам, говорят о том, что имеют место существенные различия между выбором освещения в каждой из навигационных точек ($p = 0,005$). Если проводить анализ для каждой из групп участников в отдельности, то каждая из групп предпочитает какой-то один тип освещения

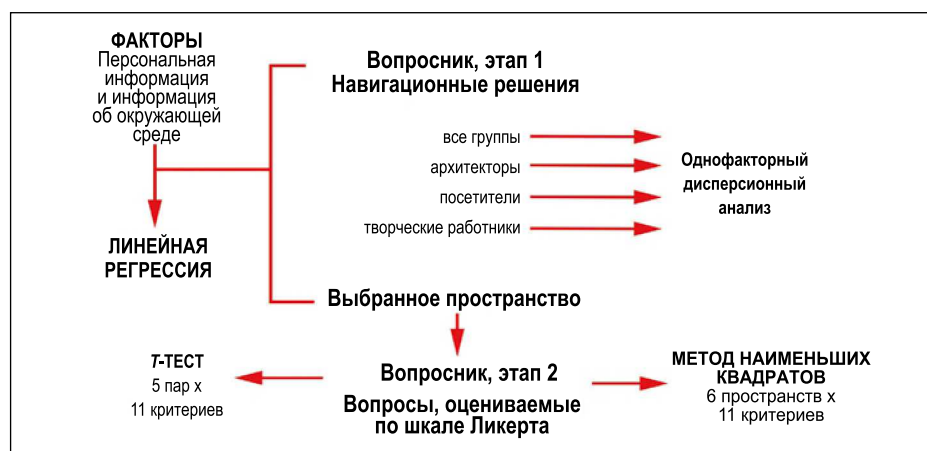


Рис. 5. Схема проведения статистического анализа

Т-критерии Стьюдента для пар пространств

Пары пространств / Критерии	1	2	3	4	5
	1A-1D	2A-2D	1A-2A	1D-2D	6A-6D
1 – Естественное / Искусственное	0,0013	0,0001	0,1872	0,1375	0,0001
2 – Разрозненное / Целостное	0,4841	0,0155	0,2378	0,0888	0,0020
3 – Нечёткое / Чёткое	0,1518	0,0489	0,4079	0,3305	0,4648
4 – Тусклое/ Яркое	0,4445	0,0925	0,2672	0,0492	0,4738
5 – Унылое / Привлекательное	0,3676	0,3484	0,3169	0,3551	0,2660
6 – Напрягающее / Расслабляющее	0,1194	0,2781	0,0170	0,0391	0,1062
7 – Жёсткое/ Мягкое	0,0142	0,4580	0,0019	0,1904	0,3102
8 – Некомфортное / Комфортное	0,0426	0,3078	0,0040	0,0806	0,1885
9 – Несбалансированное / Однородное	0,3488	0,3432	0,0865	0,2246	0,2079
10 – Цвет света	0,1136	0,0555	0,2930	0,3115	0,4907
11 – Зрительное качество	0,0398	0,4055	0,0531	0,2836	0,1491

(рис. 6). Если не принимать во внимание точку 2, то архитекторы предпочитают участки с естественным освещением. Посетители во всех точках выбирали направление движения тоже в сторону естественного освещения. С другой стороны, творческие работники во всех случаях за исключением точки 6 предпочитали двигаться в сторону искусственного освещения, причём у этой группы выбор направления движения в сторону естественного освещения наблюдался реже и в переходных зонах.

Различия имелись и в выборе предпочтительных для выставочных помещений источников света (точки 1, 2, 4 и 6), тогда как в переходных зонах (точки 3 и 5) участники явно предпочитали естественное освещение. Полученные результаты говорят о том, что в первой точке участники разделились почти поровну. Следует обратить внимание и на не связанные с освещением факторы, такие как пространство и расположение экспонатов. Кроме того, участники утверждали, что при движении по выставке они придерживались определённой системы (по или против часовой стрелки), чтобы посмотреть все экспонаты. Несмотря на вышесказанное, тенденция к движению в сторону естественного освещения усиливается при приближении к концу экспозиции. Это можно объяснить усталостью от фо-

кусирования внимания на экспонатах или другим типом светового проёма в пространстве 6D. Искусственный свет используется главным образом для того, чтобы отвлечь внимание от окружающего экспонат пространства и сфокусировать его на самом экспонате [1, 12]. Фокусирование должно быть ослаблено для поддержания

внимания посетителей. Хотя навигация исследовалась по мере перехода из одного помещения в другое, полученные результаты демонстрируют заметные различия между типами выставочных пространств. Участники чаще предпочитают двигаться в сторону помещений с искусственным освещением, если экспонаты представ-

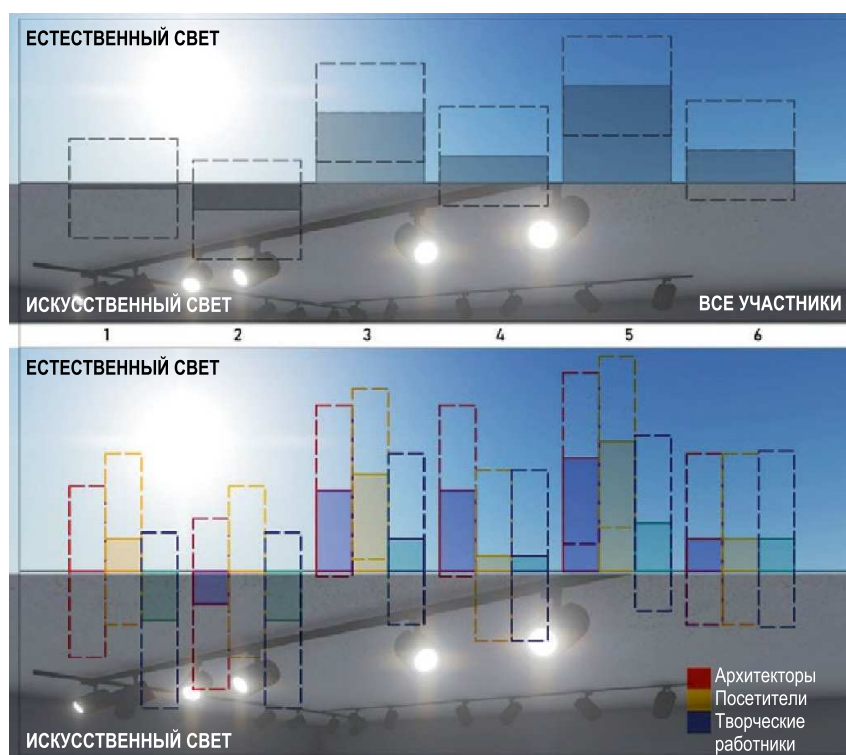


Рис. 6. Предпочтительное освещение для всех навигационных точек

Средние значения и среднеквадратические отклонения (σ) результатов оценки пространств по шкале 1–5 для всех критериев

Пространства / Критерии		1A	1D	2A	2D	3 и 4	6A	6D
1 – Естественное / Искусственное	Среднее	4,00	1,90	3,45	1,44	2,50	4,10	2,19
	σ	1,41	1,10	1,21	0,86	0,84	1,10	1,23
2 – Разрозненное / Целостное	Среднее	3,78	3,80	4,18	3,22	3,67	4,60	3,46
	σ	1,39	0,92	0,98	1,26	1,03	0,70	1,50
3 – Нечёткое / Чёткое	Среднее	4,67	4,30	4,73	4,11	3,50	4,00	4,04
	σ	0,50	0,95	0,65	1,28	1,05	1,15	1,15
4 – Тусклое/ Яркое	Среднее	3,67	3,60	3,91	4,33	3,67	3,60	3,58
	σ	0,87	1,17	0,83	0,77	1,21	0,84	1,14
5 – Унылое / Привлекательное	Среднее	3,56	3,70	3,73	3,83	4,00	4,10	3,85
	σ	0,88	0,95	0,65	0,79	0,89	0,99	1,26
6 – Напрягающее / Расслабляющее	Среднее	2,78	3,50	4,09	4,33	3,00	2,80	2,23
	σ	1,30	1,27	1,22	0,69	1,67	1,14	1,31
7 – Жёсткое/ Мягкое	Среднее	2,11	3,40	3,82	3,78	3,33	2,90	3,08
	σ	1,17	1,17	1,08	0,81	1,03	0,74	1,35
8 – Некомфортное / Комфортное	Среднее	3,44	4,20	4,55	4,67	3,17	4,20	3,77
	σ	0,88	0,92	0,69	0,49	1,33	1,32	1,14
9 – Несбалансированное / Однородное	Среднее	3,78	4,00	4,45	4,33	3,17	4,10	3,69
	σ	1,20	1,25	0,82	0,69	1,17	1,37	1,12
10 – Цвет света	Среднее	3,22	2,70	3,00	2,56	2,83	3,30	3,31
	σ	0,97	0,82	0,77	0,51	0,75	0,95	0,62
11 – Зрительное качество	Среднее	3,33	4,10	4,00	3,94	3,33	4,20	3,81
	σ	1,00	0,74	0,63	0,54	0,82	1,03	0,80

ляют собой картины, а не скульптуры (точки 1 и 2).

3.2. Выбор пространств, существенные факторы и относительная важность вопросов

Полученные результаты говорят о том, что из всех приведённых в табл. 1 пространств наблюдатели в 29 % случаев, то есть чаще всего, выбирали пространство 6D (рис. 7). Основное отличие этого пространства от остальных заключается в наличии светового проёма, представляющего собой зенитный панельный фонарь. Вторым наиболее часто выбиравшимся пространством было пространство 2D, которое также освещается естественным светом. Это не согласуется с соотношениями между

полученными в других случаях предпочтительными сочетаниями «естественное освещение – скульптуры» и «искусственное освещение – картины». С другой стороны, сам по себе такой выбор не позволяет сделать вывод относительно предпочтений, так как при этом следует учитывать и привлекательность. Для совмещения «выбора» и уровня «предпочтительности» выраженный в процентах выбор пространств был сопоставлен с ответами на вопрос № 11 (табл. 4), согласно которым пространство 6A получило наивысшую оценку, несмотря на то, что оно было выбрано только в 11 % случаев.

Метод линейной регрессии был использован для объяснения влияния всех переменных на ответы на связанные с выбором вопросы, например, навигационные. При этом в качестве

воздействующих факторов рассматривались обозначенные цифрами личные данные и характеристики окружающей среды. Например, были выделены три возрастные группы, обозначенные как 1, 2 и 3. Полученные результаты

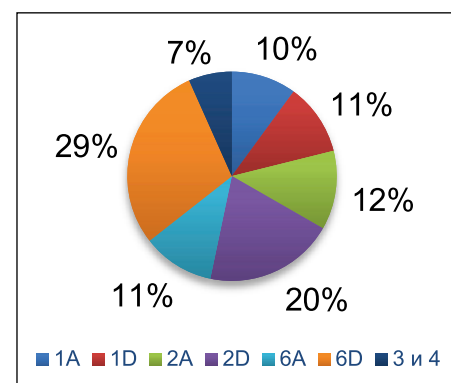


Рис. 7. Выбор пространств в процентном выражении

показали, что возраст является решающим фактором в первой навигационной точке, в которой следует выбрать направление движения в сторону помещения 1А или помещения 2А. Во второй и в третьей навигационных точках важное значение имеет пол участника. При этом характеристики окружающей среды и зрительные факторы не оказывают на выбор никакого существенного влияния.

В конце опроса участники должны были выбрать три критерия/вопроса, позволяющие понять осознание ими роли и влияния освещения. Наиболее важным для оценки освещения был назван вопрос № 1 о типе источника света (искусственный или естественный), который был выбран 47 раз, тогда как вопросы, касающиеся яркости (№ 4) и коррелированной цветовой температуры (№ 10) были выбраны, соответственно, 35 и 36 раз. Расслабление (вопрос № 6), зрительное качество (вопрос № 11), равномерность (вопрос № 9) и комфорт (вопрос № 8) были выбраны, соответственно, 26, 28, 24 и 20 раз. Реже всего отмечались такие критерии, как целостность (вопрос № 2), чёткость (вопрос № 3), привлекательность (вопрос № 5) и мягкость (вопрос № 7), которые были выбраны, соответственно, 15, 10, 14 и 15 раз.

3.3. Попарное сравнение пространств (*t*-тест)

Для понимания и выявления влияния пространства и экспозиции было проведено попарное сравнение пространств с использованием *t*-теста. Для проведения анализа были выбраны 5 пар пространств, которые оценивались применительно к 11-ти разным критериям. Эти пары были специально сформированы таким образом, чтобы между входящими в них пространствами было только одно отличие, например, тип источника света или тип экспозиции, тогда как остальные характеристики этих пространств были одинаковыми. Приведённые в табл. 3 уровни значимости были проанализированы совместно с приведёнными в табл. 4 усреднёнными результатами. Применительно к изменению источника света были сформированы пары 1А-1D, 2А-2D и 6А-6D, тогда как пары 1А-2А и 1D-2D были сформированы применительно к изменению типа экспозиции.

В паре 1А-1D представлены скульптуры. В случае *t*-теста существенные результаты были получены применительно к четырём вопросам. При этом, зрительная достоверность визуализации была признана успешной, так как различия между источниками света с лёгкостью (уровень значимости 0,0013) замечались участниками (вопрос № 1). Что касается оценки по шкале «жесткий – мягкий» (вопрос № 7), то естественное освещение было признано существенно более мягким ($p = 0,0142$). В случае 3-мерных объектов точечные светильники создают более резкие тени, чем естественное освещение. Как и в случае вопроса № 7, естественное освещение было признано зрительно более комфортным ($p = 0,0426$). Менее контрастные и более мягкие тени были восприняты как более комфортные, что согласуется с результатами многих других исследований. И наконец, применительно к зрительному качеству, освещение скульптур естественным светом было оценено на 0,7 баллов выше и оказалось предпочтительным с уровнем значимости $p = 0,0398$.

Пара 2А-2D позволила сопоставить естественное и искусственное освещение картин при неизменности всех остальных характеристик. Результаты *t*-теста говорят о значимости пяти вопросов. Как и в случае пары 1А-1D, участники смогли уверенно оценить источники света ($p = 0,0001$). Освещённое искусственным светом пространство с картинами воспринималось как более целостное ($p = 0,0155$). Сбалансированность контрастирующих участков была обеспечена точечными светильниками. Одинаково высвеченные картины отвлекают внимание от остального пространства, которое воспринимается как зрительно ритмичное. Что касается ответов на вопрос № 3, то освещённое искусственным светом пространство с картинами было сочтено более чётким, что также можно объяснить тем, что точечные светильники формируют большее количество точек фокусирования внимания ($p = 0,0489$). Несмотря на такие же, как и в случае пары 1А-1D, уровни освещённости, в случае пары 2А-2D освещённое естественным светом пространство с картинами воспринималось как более яркое ($p = 0,0555$).

В рамках третьей пары сравнивались освещённые искусственным све-

том пространства со скульптурами (1А) и с картинами (2А). Существенные результаты были получены применительно к пяти вопросам. Никакие значимые различия между типами источников света выявлены не были, так как оба пространства освещались источниками света одного типа. Применительно к расслаблению, пространство с картинами было оценено на 1,20 балла выше, чем пространство со скульптурами ($p = 0,0170$). Столь же существенные различия были получены и при сравнении таких же пространств (1D и 2D), освещаемых естественным светом. Независимо от типа источника света, относительный размер занимаемого экспонатом пространства является для этой оценки решающим. Помимо этого, пространство с картинами было сочтено более мягким ($p = 0,0019$) и зрительно более комфортным ($p = 0,0040$). Как и в случае пары 1А-1D, тени в освещённом искусственным светом пространстве со скульптурами оказались более резкими, чем в случаях того же пространства, освещённого естественным светом, или пространства с картинами. Кроме того, пространство с картинами воспринимается как более сбалансированное ($p = 0,0865$). Применительно ко всем вышеупомянутым четырём вопросам пространство с картинами было оценено «положительно», а ответы на пятый вопрос говорят о его более высоком зрительном качестве ($p = 0,0531$).

В рамках четвёртой пары сравнивались освещённые естественным светом пространства со скульптурами (1D) и с картинами (2D). Пространство со скульптурами было признано более цельным ($p = 0,0888$). В отличие от пространства с картинами, в пространстве со скульптурами тени формируют ансамбль. Что касается вопроса № 4, то пространство с картинами воспринималось как более яркое несмотря на одинаковый уровень освещённости ($p = 0,0492$). Пространство с картинами позволяет светить сильнее, создавая при этом меньше теней. Соответственно, пространство с картинами было сочтено более расслабляющим ($p = 0,0391$) и зрительно комфортным ($p = 0,0806$).

И наконец, было проведено сравнение отличающихся только источниками света выставочных пространств 6А и 6D. При этом, зрительная достоверность визуализации была опять при-

Результаты, полученные методом наименьших квадратов, с указанием важных коэффициентов, характеризующих связь между выставочным пространством и критериями оценки

	1A	1D	2A	2D	6A	6D
2 – Разрозненное / Целостное	0,865	0,835	0,413	0,446	0,146	0,714
3 – Нечёткое / Чёткое	0,039	0,146	0,025	0,223	0,362	0,263
4 – Тусклое/ Яркое	1,000	0,897	0,631	0,157	0,897	0,842
5 – Унылое / Привлекательное	0,397	0,559	0,589	0,722	0,845	0,732
6 – Напрягающее / Расслабляющее	0,726	0,421	0,077	0,021	0,747	0,160
7 – Жёсткое/ Мягкое	0,040	0,908	0,391	0,398	0,345	0,611
8 – Некомфортное / Комфортное	0,592	0,044	0,007	0,002	0,044	0,177
9 – Несбалансированное / Однородное	0,283	0,136	0,020	0,024	0,096	0,283
10 – Цвет света	0,317	0,725	0,655	0,424	0,221	0,157
11 – Зрительное качество	1,000	0,061	0,097	0,101	0,035	0,184

знана успешной (вопрос № 1), так как различия между источниками света были хорошо заметны ($p = 0,0001$). Освещённое искусственным светом пространство воспринималось как более цельное ($p = 0,0020$), что можно объяснить наличием ритма, формируемого сфокусированным светом и тенями.

3.4. Анализ создаваемого пространством впечатления (с использованием метода наименьших квадратов)

Помимо t -теста, связь между характеристиками выставочного пространства и критериями оценки/вопросами была проанализирована при помощи метода наименьших квадратов (табл. 5). Третий критерий (нечёткое/чёткое) оказался существенным в пространствах с искусственным освещением 1A и 2A. В выставочном пространстве 6A этот критерий оказался несущественным, т.к. в этом пространстве присутствовали экспонаты обоих типов, и оно выглядит более просторным. Пространства с картинами 2A и 2D оказались более расслабляющими по сравнению с остальными пространствами. Пространство 2D с естественным освещением было сочтено наиболее расслабляющим. Наблюдается существенная связь между критерием 7 (жёсткость) и выставочным пространством 1A, так как это пространство освещается искусственным светом и, в то же время, содержит

скульптуры, что приводит к образованию более резких теней. Эти критерии оказались одинаково важными применительно к демонстрации картин как при искусственном, так и при естественном освещении (2A и 2D соответственно). За исключением пространств 1A и 6D, критерий 8 (комфортность) оказался примерно одинаково важным для всех пространств. Пространства с картинами 2A и 2D были признаны зрительно комфортными, что согласуется с оценками применительно к критерию 6 (расслабленность). В пространствах со скульптурами, как, впрочем, и в других пространствах, естественное освещение представляется более комфортным. Критерий 9 (равномерность) оказался существенным в пространствах с картинами. Искусственное освещение было признано более сбалансированным (критерий 9) благодаря акцентированному освещению. И наконец, пространство 6A было оценено намного выше (критерий 11). За ним следуют освещённое естественным светом пространство со скульптурами 1D и освещённое искусственным светом пространство с картинами 2A.

4. Обсуждение и выводы

В данном исследовании вопросник был использован для выявления связи между пространством, типом экспозиции и особенностями наблюдателей применительно к освещению выставок. Для оценки влияния типа освеще-

ния на выбор направления перемещения по выставке (навигации) была использована виртуальная модель. Так как выставочная деятельность охватывает многие дисциплины, то участники отбирались в равной пропорции из архитекторов, посетителей и творческих работников, что позволило выявить различия в их предпочтениях. Ответы на вопросы были проанализированы несколькими методами, которые дали одинаковые результаты.

Применительно к навигации, естественное освещение оказалось предпочтительным в переходных зонах. Эта тенденция двигаться в сторону естественного света усиливалась к концу выставки. При этом выбор направления перемещения зависит от того, к какой группе принадлежали участники опроса. Архитекторы предпочитали естественный свет, а творческие работники – искусственный. Пространство 6D с естественным освещением оказывалось предпочтительным наиболее часто, хотя, если судить по результатам t -теста и метода наименьших квадратов, зрительно более привлекательным было сочтено пространство 6A. Связь между «предпочтительностью», «зрительным качеством» и «привлекательностью» можно исследовать в дальнейшем. Следует также отметить, что наиболее важным критерием оценки освещения участники опроса считают источник света.

Аналогичные результаты были получены на втором этапе исследований при помощи t -теста и мето-

да наименьших квадратов. В первую очередь было установлено, что программа *Lumion* с успехом обеспечивает точность зрительного моделирования в любых условиях. Результаты применения *t*-теста показали, что естественное освещение воспринимается как более мягкое, и оно же оказалось более комфортным по оценкам, проведённым обоими методами. Искусственное освещение оценивалось применительно к точечным светильникам. Так как точечные светильники являются акцентирующими, то сочетание ярких и тусклых участков воспринимается вполне целостным и сбалансированным. Пространства со скульптурами были сочтены более целостными и получили более высокую оценку. Ещё одно различие между типами экспонатов состояло в использовании пространства и количестве теней. Результаты, полученные обоими методами, показали, что благодаря меньшей загруженности пространства и меньшему количеству теней пространства с картинами воспринимаются как расслабляющие, яркие, мягкие и зрительно комфортные. Помимо оценки влияния вида экспозиции и характеристик пространства, была установлена связь между зрительным комфортом и равномерностью освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cuttle, C.* Light for Art's Sake Lighting for Artworks and Museum Displays. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.
2. *Garside, D., Curran, K., Korenberg, C., MacDonald, L., Teunissen, K., Robson, S.* How is museum lighting selected? An insight into current practice in UK museums // *Journal of the Institute of Conservation.* – 2017. – Vol. 40, No. 1. – P. 3–14.
3. *Ajmat, R., Sandoval, J., Arana Sema, F., O'Donnell, B., Gor, S., Alonso, H.* Lighting design in museums: Exhibition vs. Preservation // *WIT Transactions on the Built Environment.* – 2011. – Vol. 118. – P. 195–206.
4. *Druzik, J. R., Eshoj, B.* (2007). Museum lighting: its past and future development. In: *Museum Microclimates* / Ed. T. Padfield and K. Borchersen. – National Museum of Denmark, 2007. – P. 51–56.
5. *Kesner, C.W.* Analysis of the museum lighting environment // *Journal of Interior Design.* – 1997. – Vol. 23, No. 2. – P. 28–41.
6. *Thomson, G.* The Museum Environment. – 2nd ed. – London: Butterworths-Heinemann, 1986.
7. *Cannon-Brookes, S.* (2000). Daylighting galleries: performance criteria // *Lighting*

Research and Technology. – 2000. – Vol. 32, No. 3. – P. 161–168.

8. *Kim, C. S., Chung, S. J.* (2011). Daylighting simulation as an architectural design process in museums installed with toplights // *Building and Environment.* – 2011. – Vol. 46, No. 1. – P. 210–222.

9. *Blake, S., Hall, J., Sissel, S.* Using Lighting to Enhance Wayfinding. – 2010.

10. *Şener Yılmaz, F.* (2018). Human factors in retail lighting design: an experimental subjective evaluation for sales areas // *Architectural Science Review.* – 2018. – Vol. 61, No. 3/ – P. 156–170.

11. *Fördergemeinschaft Gutes Licht.* Good Lighting for Museums, Galleries and Exhibitions. In: *Information on Lighting Applications* / Frankfurt: Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2007. – P. 48.

12. *Haans, A.* The Natural Preference in People's Appraisal of Light // *Journal of Environmental Psychology.* – 2014. – Vol. 39, No. 9. – P. 51–61.



Аслыхан Чевик (Aslıhan Çevik).

Обучается в магистратуре Измирского технического института. Ассистент Измирского технического института. Область научных интересов:

архитектурное освещение и физика зданий



Тугче Казанмаз (Tuğçe Kazanmaz),

Ph.D. Профессор кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 19-летний опыт преподавательской

работы в области архитектурного освещения, физики зданий и энергоэффективного проектирования



Хасан Энгин Дюран (Hasan Engin Duran),

Ph.D. Доцент кафедры планирования развития городов и территорий Измирского технического института. Имеет 14-летний

опыт преподавательской работы в области развития регионов, статистического анализа и методов исследований

Эластичный секундомер светится на коже человека

Вполне возможно, что в недалёком будущем мы будем проверять, кто звонит, или, к примеру, изучать список необходимых покупок, просто взглянув на светящийся дисплей на тыльной стороне ладони.

Такие решения, которые исследователи относят к разряду человеко-машинных интерфейсов, больше не являются научной фантастикой.

Инженеры, материаловеды и специалисты в области гибкой электроники уже разработали растягивающиеся светоизлучающие устройства, называемые электролюминесцентными дисплеями переменного тока (*alternating-current electroluminescent (ACEL) displays*).

Их можно крепить к коже. Однако для достижения достаточной яркости подобным дисплеям требуется относительно высокое напряжение, что небезопасно для потенциального пользователя.

Эту проблему решили исследователи из Нанкинского университета (КНР). Они создали растяжимое светоизлучающее устройство, которое работает, даже когда напряжение очень низкое.

Между двумя гибкими электродами из серебряных нанопроволок исследователи поместили электролюминесцентный слой, состоящий из светоизлучающих микрочастиц, распределённых в растягиваемом диэлектрическом материале.



Последний представляет собой гибкий полимер со встроенными керамическими наночастицами. Благодаря этому материалу новое устройство превзошло по яркости все существующие ACEL-дисплеи.

В качестве демонстрации возможностей команда Поднебесной создала секундомер с четырёхзначным дисплеем, который затем поместили на кисть руки добровольца.

Тесты показали, что при низких, а значит, безопасных для пользователя напряжениях эластичный дисплей излучал достаточно яркий свет: цифры можно было увидеть даже в хорошо освещённом помещении.

Авторы уверены, что их разработка найдёт широкое применение в «умных» носимых устройствах, мягкой робототехнике и человеко-машинных интерфейсах будущего.

О проделанной работе китайские учёные отчитались в статье в журнале «*ACS Materials Letters*».

nauka.vesti.ru
31.10.2029

Международная деятельность в области светотехники профессора Айзенберга Ю.Б. (творческий отчёт)

Настоящая статья не носит характера мемуаров. Её цель – подвести итоги деятельности автора (в предельно лаконичной форме) в решении поставленной перед собой задачи – оказать возможное содействие в рамках его сил подъёму научно-технического уровня светотехнической отрасли нашей страны с учётом самых высоких для того времени достижений в области конструирования световых приборов, технологий их производства и используемого новейшего высокопроизводительного оборудования.

Автору представлялось важным не только подвести итоги деятельности в этом направлении за 65 лет работы в светотехнической науке и промышленности, но и дать возможность новому поколению специалистов знать и использовать накопленную информацию, и пути её реализации в реальном отечественном производстве.

Участие в работе международных светотехнических организаций

1.1. Работа в качестве члена Международной электротехнической комиссии (МЭК) в техническом комитете «Светотехника» № 34 (подкомитет «Lumex» – Световые приборы» (1965–1985 гг.)), участие в разработке основополагающих международных стандартов «Светильники с люминесцентными лампами» (*Publication 162 1972 Luminaires for tubular fluorescent lamps*) и «Технические требования и методы испытаний световых приборов» (*Publication 598 1977 Luminaires Part 1: General requirements and tests*) (рис. 1). Перевод и издание в виде книги первого стандарта на русский язык (совместно с А.В. Очкиным). Участие в конгрессах МЭК в Лондоне, Мюнхене, Стокгольме.

1.2. Участие в работе Международной комиссии по освещению МКО (Отделение 3) с 1980 по 2017 гг.). Выступил с предложением о создании в МКО технического комитета по проблеме «Полые протяжённые световоды» («*Hollow Light Guides*»), возглавлял группу под этим названием, а затем и технический комитет ТК3–30, утверждённый на конгрессе в Мельбурне. Руководил работой этого ТК с 1990 по 1998 годы. Первые заседания ТК проводил в Стокгольме, Вашингтоне, Берлине и Тронхейме. Подготовил первую редакцию Публикаций. Был вынужден уйти в отставку с поста председателя ТК3–30 в связи с отсутствием финансирования на участие в последующих заседаниях (работал только по переписке). Публикация была утверждена в окончательном виде и опубликована в 2005 году (Публикация CIE164:2005 «*Hollow Light Guide Technology and Applications*»)

Выступал с докладами о результатах создания и исследования полых световодов на конгрессе МКО в Балтиморе (1990 год), а также в Сиэтле и Сан-Диего.

¹ Творческий отчёт Ю.Б. Айзенберга о его научной литературной деятельности, а также работы в светотехнической науке и промышленности журнал «Светотехника» № 3, 2017 год, с. 52

Участвовал в работе ТК МКО «*Tubular Daylight Guidance Systems*» по разработке публикации по введению солнечного света в здания с помощью полых световодов (CIE173:2008 г.). Оба отчёта представлены на рис. 1.

2. Принимал участие (без докладов) в конгрессах МКО в Шанхае, Нью-Дели, Мюнхене, Станбуле, Эдинбурге, Копенгагене.

Читал лекции по приглашению университетов Берлина, Эдинбурга, Беркли, Хельсинки, Ильменау. В качестве приглашённого лектора выступал с докладами и лекциями в Испании (совместно с В.М. Пятигорским) в городах Мадриде и Барселоне, а также на международных светотехнических выставках в Москве, Hannover (Германия) и Франкфурте-на-Майне, а также на фирмах 3М (США), Trilux и Sélux (Германия), Zumtobel (Австрия), Bühler-Scherler (Швейцария), Targetti и PRC Италия (Флоренция и Bergamo). Во Флоренции был сделан доклад в Академии Света фирмы Targetti, в восстановленном фирмой бывшем замке Америго Веспуччи – первого открывателя Америки и давшего ей своё имя.

Участие в крупных международных светотехнических выставках в городах Москва, Ганновер, Франкфурт-на-Майне, Нью-Йорк, Шанхай, Берлин (Берлинаре), Берн, Валенсия, Милан.

На международной выставке Interlight на протяжении 17 лет был заместителем председателя Оргкомитета выставки, руководителем научной части выставки.

Выдвинул идею организации на выставке Interlight систематического Форума по светодиодам, организовал и возглавил в первые два года его работу действующего с 2005 года по настоящее время (на протяжении 13 лет).

Темами лекций и докладов за рубежом, как правило, были:

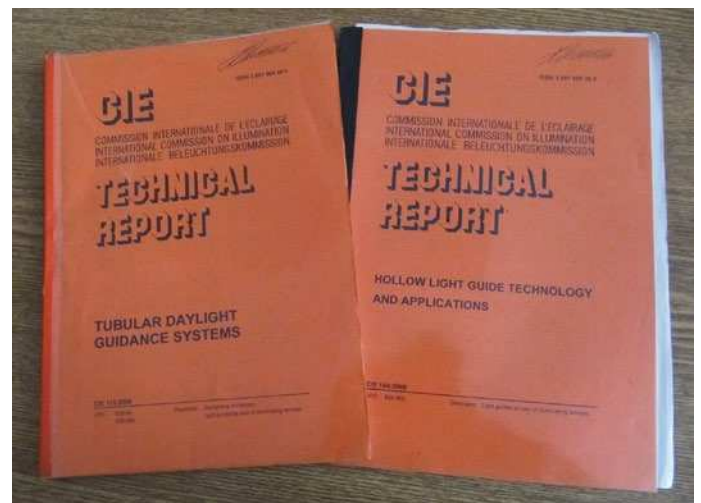


Рис. 1. Отчёты ТК МКО «*Tubular Daylight Guidance Systems*» и «*Hollow Light Guide Technology and Applications*»

– современное состояние разработки и производства новых световых приборов и тенденции их дальнейшего развития;

– полые протяжённые световоды, принципы устройства, основные достоинства и область применения;

– основные направления энергосбережения в осветительных установках, методы и средства снижения энергозатрат (роль КСС, ПРА, автоматического управления, методов и условий эксплуатации, степени защиты световых приборов и др.);

К числу статей в зарубежных журналах необходимо отнести статьи:

– о тепловом режиме световых приборов с разными источниками света журнал «*Energie*» (Германия);

– о современном состоянии светотехники в России (журнал «*Journal of Lighting*» (UK));

– серия статей о полых световодах (в журнале «*Licht*»);

– о классификации кривых силы света световых приборов и новой системе допусков на КСС (журнал «*Lighting Research and Technology*»).

Издательская деятельность

Основание в Нью-Йорке в 1993 году научно-технического журнала «*Light and Engineering*» – английской версии журнала «Светотехника» (издательство *Allerton Press*).

Написание и издание книги «*Hollow Light Guides*» на английском языке и рассылка книги всем специалистам в этой области в России, США, Англии, Германии, Италии, Швейцарии, Австралии.

Получение патентов на наши разработки по световодам и новому виду стыкуемых промышленных светильников с одним ПРА на два прибора. Патенты на полые световоды и варианты их конструкций были получены начиная с 1975 года в США, Англии, Германии, Франции, Италии, Швейцарии, Японии, Швеции.



Рис. 3. Диффузные ППС с регулируемой цветностью

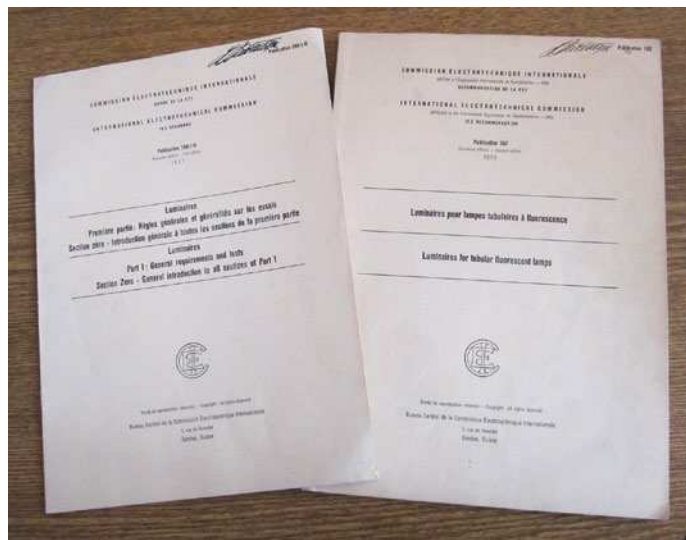


Рис. 2. Публикации, подготовленные в рамках работы Ю.Б. Айзенберга в МЭК

Нашим государством продана лицензия на полые световоды Японии и Италии.

Хотел бы ответить на вопрос, который наверняка возникнет у читателей – почему эти принципиально новые установки и изделия не были первоначально созданы в нашей стране?

К сожалению, ответ прост и огорчителен. Необходимые для реализации этих новых идей технологии и оборудование в 90-е годы прошлого века в нашей стране отсутствовали. К их числу, в первую очередь, относятся экструдирование труб из ПММА большого диаметра ($\varnothing 0,25$ м и более), которые отсутствовали на всех химических предприятиях. Поэтому, в частности, на ПО Ватра был освоен выпуск первых световодов только из эластичной полиэтилентерефталатной плёнки, непригодной для решения ряда новых задач.

Вторым не менее важным фактором являлся бюрократизм и боязнь нового, руководителями ведущих проектных организаций, которым мы предлагали введение гелеостатно-световодных устройств в выполняемые ими проекты (Тяжпромэлектропроект, Электропроект, Электромонтаж, Стальпроект и др.)

Мы были вынуждены опубликовать статьи о новых идеях в журнале «*Licht*» и получили целый ряд весьма заинтересованных откликов.

В частности, проектная организация машиностроительной фирмы *Bühler-Scherler* (Швейцария) прислала письмо о своей большой заинтересованности в реализации нашей идеи введения солнечного света и света ламп через одни и те же световоды в помещения с недостаточным освещением. Фирма выразила готовность реализовать это решение при условии, что мы выполним проект установки. Этот проект под названием «*Heliobus*» (выполненный совместно с А.А. Коробко) реализован в городе Сент-Гален (Швейцария) в четырехэтажной школе, успешно действующий и получивший золотую медаль международной выставки в Берне по охране окружающей среды (рис. 4, 5 и 6).

То же произошло с фирмой *Sélux* (Германия) заинтересованной в полых световодах с жёсткими каналами.



Рис. 4. Вид гелиостата установки «Heliobus»

Осуществление функций научного консультанта по приглашению фирм

– ЗМ (Сент-Полл, США) в области полых световодов;

– *Bühler-Scherler* (Сэнт-Галлен, Швейцария) в области гелиостатно-световодных систем для введения и распределения по одним и тем же каналам световодов, как солнечного света, так и света искусственных источников (ламп). Руководство, подготовка проекта (совместно с А.А. Коробко) и руководство реализации установки (типа *Heliobus*) в многоэтажном здании школы в Сант-Галлене (рис. 4);

– *Selux* (Берлин, Германия) в области полых жёстких световодов с односторонними и двухсторонними вводными устройствами с новыми х-образными зеркальными оптическими системами. Реализация новых установок в основном с вертикальными каналами световодов. Крупная осветительная установка на 32-х пешеходных переходах была создана фирмой *Selux* под моим руководством на московской кольцевой дороге;

Сбор и анализ информации, формулирование рекомендаций, помощь отечественным предприятиям

При каждом участии в работе конгрессов, конференций, симпозиумов и на выставках стремился близко познакомиться с производством световых приборов в близлежащих фирмах (с их технологией, оборудованием и специалистами).

В результате этого у меня образовался большой объём информации. Этот материал был использован в двух направлениях:

– разработка рекомендаций отечественным предприятиям (в особенности курируемым мною), и оказание им помощи в приобретении новейшего оборудования и технологий у передовых зарубежных фирм;

– проведение в Москве в Доме Света 23 презентации ведущих светотехнических фирм, демонстрировавших лучшие образцы СП и схемы технологи-

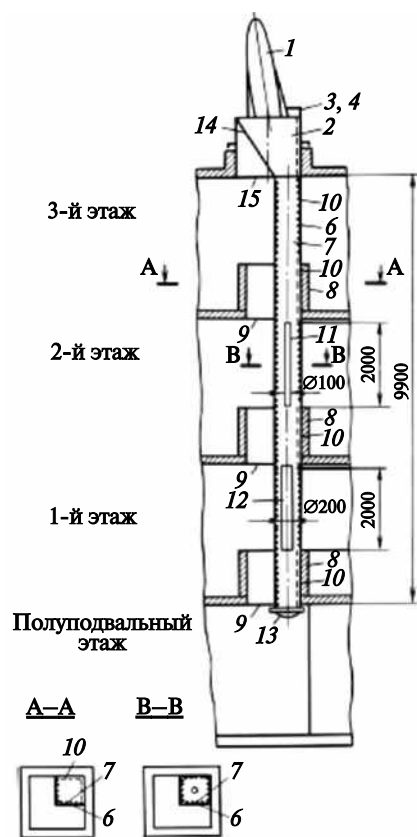


Рис. 5. Схема установки «Heliobus»

ческих процессов (таких, как *Philips, Motorola, Trilux, Fagerhult, Artemide*);

Некоторые из важных результатов этой деятельности привели к значительному повышению технологического уровня отечественной промышленности.

– Производственное объединение «Ватра» (Р.Ю. Яремчук) приобрела уникальный для того времени комплекс крупногабаритного оборудования (весом 96 тн и с усилием смыкания пресс форм 1600 тн) и оснастки для литья под давлением коробчатых призматических крупногабаритных рассеивателей из ПММА (для светильников для общественных зданий с 4 и 2 ЛЛ по 40/36Вт). Необходимые для этого производства сверхсложные пресс-формы с 9-ю разъёмами были также приобретены в комплекте. Это уникальное, единственное в мире оборудование и технология использовались фирмой *Krauss Maffei* в Мюнхене.

Благодаря полученной информации, «Ватра», с помощью «Минэлектротехпрома» осуществила закупку и наладку оборудования и технологии, что позволило три десятилетия выпускать ультрасовременную технику.

– Ардатовский светотехнический завод (АСЗ) получил две важнейших информации, одна из них касалась изготовления светильников с ЛЛ с корпусами, получаемыми из алюминия, методом непрерывного давления Вторая – о быстромодном экструдировании незамкнутых профилей рассеивателей из ПММА для одноламповых светильников с ЛЛ.

Обе информации были эффективно использованы АСЗ (В.В. Барминым) с помощью ВНИСИ, что позволило существенно поднять технический уровень изделий завода.

Что касается неудачной попытки получить уникальное оборудование для непрерывного прессования силуминовых корпусов, то задачи были решены частично путём установления прочных связей (совместно с В.В. Барминым) с двумя отечественными заводами строительных алюминиевых конструкций в Воронеже и Ленинграде и разработкой АСЗ (В.В. Барминым) и ВНИСИ серии светильников ПВЛМ с экструдированными корпусами для производственных помещений с тяжёлыми условиями среды.

– ВНИСИ, по соответствующей нашей информации, приобрёл в университете Ильменау и у фирмы Технотим автоматизированную и компьютеризированную установку для измерения яркости уличных дорог во время быстрого движения с помощью камеры, размещённой на автомобиле (при скорости до 80 км/ч). Вся наладка и запуск в эксплуатацию бала проведена во ВНИСИ А.Ш. Черняком.

– После моего ознакомления с лучшими в мире производствами электроустановочных изделий в Германии (*BJB*) и Италии (*PRC*, Варезе) отечественные предприятия выпускавшие светильники с люминесцентными лампами, полностью перешли на использование патронов (ламподдержателей) для ЛЛ, клеммных колодок, разъёмов, стартеродержателей только этих фирм, интересы которых стала представлять по нашей рекомендации фирма «Точка Опоры», а также Ардатовский и Рижский заводы (В.В. Крайзман).

Презентации зарубежных фирм в Московском Доме Света имели особую важность для повышения квалификации конструкторов и технологов отечественных предприятий. К сожалению, этот творческий контингент специалистов отрасли многие десятилетия не имел возможности посещать зарубежные выставки и тем более предприятия фирм. Поэтому одной из важнейших задач Дома Света в области международной деятельности на протяжении 20 лет была организация показа в Москве для отечественных специалистов новейших достижений передовых фирм по конструированию, технологии и дизайну изделий.

Некоторые из презентаций и то новое, что они привнесли в светотехническую отрасль

– Новые зеркально-отражающие материалы в виде рулонов и листов с коэффициентом отражения 0,995 фирмы *Alanod* (Германия). Презентация этой фирмы в Москве с приглашением всех заводов отрасли привела к почти полному переходу таких предприятий как Нордклифф, Световые технологии, Ардатовский и Рижский заводы на использование зеркального алюминия для изготовления отражателей. Это позволило заметно подтянуть КПД светильников и обеспечить требуемые КСС;

– электронные управляющие устройства для осветительных установок (фирма *SELC*, Ирландия);

– современные шинопроводы для ОУ (фирма *Eutrac*, Германия);

– ландшафтное освещение и специальные светильники (фирма *Futur Plast*, Италия);

– серия специальных светильников для аварийного освещения (фирма *Begelli*, Италия);



Рис. 6. Вид светящейся части установки «Heliobus» внутри здания

– новые скандинавские светильники для промышленных и общественных зданий (фирма *Fagerhult* Швеция);

– современный дизайн светильников (фирма *Artemide*, Италия);

– новое фотометрическое оборудование (фирма *Licht Mess Technik*, Германия);

– новое поколение перспективных тонких ЛЛ типа Т5 и светильников с ними (фирмы *Philips*, *Osram*);

– экструдированные профили и трубы для светотехнических изделий (фирма *Poliflex-Athex*, Италия, Германия);

– эффективные светильники местного освещения (фирма *Waldmann*, Германия);

– электронные ПРА для РЛ ВД (фирма Эльтам эйн-Хашофет, Израиль);

Надо сказать, что вся эта международная деятельность оказалась питательной средой, как для моей научной деятельности, так и для журналов «Светотехника» и «L&E», а также для «Дома Света». Установленные контакты с ведущими специалистами и тематика этих презентаций обогащала журналы ценной и самой свежей научной информацией. Материалы из докладов публиковали в наших изданиях. Личное знакомство с руководством ведущих фирм позволяло решить проблему организации презентаций с дорогостоящим привозом заказанных для демонстрации изделий в большом количестве.

Приятно было видеть, как на презентациях, так и после них, специалисты получали ответы на важные вопросы конструирования и освоения технологий производства, получали интереснейшую информацию из первых рук. Польза от этих мероприятий была бесспорно важной.

Подводя итог, далеко не основной части моей деятельности (см. журнал № 3, 2017 год), мне представляется, что её результаты имели бесспорно важное положительное влияние на повышение научно-технического уровня отечественной светотехнической продукции, на переоснащение отрасли и расширение знаний конструкторов и технологов предприятий.

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

Interlight Russia | Intelligent Building Russia: выставка с историей в новом формате

Международная выставка освещения, систем безопасности, автоматизации зданий и электротехники в этом году отпраздновала 25-летний юбилей и встретила эту дату существенными обновлениями.



Проект эволюционировал и получил новое имя – *Interlight Russia | Intelligent building Russia*. Наряду с традиционно обширной экспозицией освещения, на выставке были представлены технологии автоматизации зданий, решения для «умного дома» и «умного города», электротехника и системы безопасности. Площадка объединила 429 фирм-участников, которые показали все технологии, необходимые для построения современных, комфортных и энергоэффективных объектов.

Об истории развития выставки и её перспективах мы беседовали с генеральным директором Мессе Франкфурт РУС Ойгеном Аллесом.

– 25-летие – это значительная дата для любой выставки. Кто стоял у истоков создания? Основателем этой выставки был Эрих Фихтнер из компании Ost-West-Partner GmbH (OWP). Поддерживаете ли Вы с ним отношения как с высококлассным профессионалом выставочной деятельности?

– Эрих Фихтнер действительно был основателем, с кото-

рым мы до сих пор поддерживаем дружественные отношения. Компания *Ost-West-Partner* долгое время владела данным брендом. Была проделана колоссальная работа по формированию и развитию проекта. Приняв на себя управление, компания Мессе Франкфурт не только сохранила успешную историю существования, но и придала выставке новый импульс, что позволило вывести её на новый международный уровень, успешно интегрировав её в семейство выставок *Light+Building*.

– Можете ли Вы дать краткую характеристику роста количественных и качественных показателей выставки за эти 25 лет?

– К сожалению, я не могу дать сравнительную характеристику показателей за все 25 лет, это было бы неправильно. В первую очередь это связано с тем, что до 2012 года Мессе Франкфурт РУС не владел данным брендом. Выставка переживала и кризисные явления, и подъёмы. Статисти-

ка, соответственно, не показывает ежегодный рост количественных и качественных показателей. Например, 2015 год был отмечен спадом. В данный момент мы видим положительную динамику, а это значит, что выставка востребована рынком и имеет потенциал для дальнейшего роста.

Мы работаем практически во всех странах мира, и поэтому смогли значительно увеличить присутствие на выставке иностранных компаний, в первую очередь из Европы и стран Азии.

Из всех наших выставок в Москве, команда, которая занимается *Interlight Russia | Intelligent building Russia* – самая большая. Это связано с интенсивностью и объёмом работы на протяжении всего года. Основная цель – привлечение качественной посетительской аудитории, что позволяет грамотно выстраивать работу с экспонентами и привлекать компании, которые являются ведущими игроками в своём сегменте рынка. *Interlight Russia | Intelligent building Russia* – это комплекс мероприятий на протяжении всего года, который направлен на продвижение продукции и технологических решений наших участников. Команда проекта постоянно ищет новые идеи, чтобы максимизировать эффект от участия компаний в выставке.

– Считаете ли Вы целесообразным персонально приглашать для участия в работе выставки в Москве такие известные компании, как Cree (США), Zumtobel (Австрия), Trilux (Германия), Troll Lighting (Испания), Fagerhult, (Шве-

ция), *Targetti* и *Artemide* (Италия) и другие мировые бренды?

– Компания Мессе Франкфурт работает в международном торгово-выставочном бизнесе, как во Франкфурте, так и во всём мире более 100 лет. Многолетний опыт и экспертиза позволяют нам комплексно анализировать ситуацию на рынке и своевременно реагировать на изменения конъюнктуры.

На данный момент мы действительно считаем целесообразным интеграцию вышеупомянутых игроков глобального рынка в выставку. Однако форматы участия, которые мы предлагаем, отличаются от стандартных. Мы предлагаем компаниям создать не просто стенд, а атмосферу, которая может продемонстрировать целостную «экосистему», состоящую из различных решений.

Например, в рамках выставки этого года компании могли продемонстрировать свои решения в концептуальном пространстве *Smart Cube*. «Умные» технологии в зоне коммерческой недвижимости, включающей в себя торговый зал, склад и школу.

Существуют и другие форматы участия: компания *Cree* была представлена через дистрибьютора, *EXENIA* из Италии – через своё представительство в России. *ERCO* второй год участвуют в деловой программе, рассказывая о своих проектах по музейному освещению, а компания *iGuzzini* продемонстрировала обширной аудитории выставки свои новейшие кейсы: представители бренда рассказали о трендах в светодизайне и архитектурном освещении, заострив внимание на проектах, реализованных в России.

Кроме того, благодаря маркетинговым опциям у компаний появилась возможность взаимодействовать с целевой аудиторией на протяжении всего года. Для этой цели была разработана и реали-

зована концепция собственного *YouTube* канала, где экспоненты демонстрируют реализованные проекты, делают обзор новинок и показывают производственные процессы. И это лишь один из возможных *digital* каналов взаимодействия с целевой аудиторией выставки, доступных для экспонентов в течение всего года.

Именно такие нестандартные решения повышают интерес упомянутых компаний к участию и способствуют развитию проекта.

– Не считаете ли Вы возможным приглашать с докладами на выставку крупнейших мировых специалистов, например по развитию светодиодного освещения или современных методов автоматизации управления освещением, по другим темам?

– Мы считаем, что это делать нужно обязательно. *Interlight Russia | Intelligent building Russia* традиционно представляет обширную деловую программу для участников и посетителей выставки. Приглашённые спикеры не только рассказывают о том, как применять представленные на выставке технологии, но и делятся собственным опытом реализации проектов по всему миру. Именно международный обмен опытом позволяет сформировать комплексное представление о тенденциях и трендах отрасли.

В этом году на выставке выступали такие международные спикеры как: урбанист из Бельгии Изабель Кортен (представитель Международного сообщества городского освещения *LUCI*), светодизайнер из Италии Паоло Дата Блин, архитектор из Англии Анна Кулик (компания «*Scott Brownrigg*») и многие другие.

– Как Вы сотрудничаете с зарубежными общественными организациями по светотехнике, такими как, например, немецкая *Deutsche Lichtenwald, Institution of Lighting Professionals (ILP)* из Ве-

ликобритании или *IES* из Северной Америки?

– Да, мы сотрудничаем с иностранными общественными объединениями и стараемся расширять это сотрудничество. В том числе начинаем переговоры американской ассоциацией *IALD*, которая проводит конкурсы среди светодизайнеров. В следующем году мы бы хотели расширить сотрудничество, чтобы участники конкурса «Российский светодизайн» имели возможность принимать участие в американском конкурсе и наоборот.

По специальному приглашению Мессе Франкфурт РУС выставку 2019 года посетил представитель Немецкой ассоциации производителей электрических и электронных компонентов – *ZVEI*. Помимо рабочих встреч, посвящённых планированию совместной работы в будущем, команда выставки провела индивидуальный тур по экспозиции для представителя *ZVEI* и продемонстрировала потенциал участников раздела «*Building*».

Мы уже начали переговоры с испанской отраслевой ассоциацией *FEDAI (Federation of Association of Industries and Exporters of Decorative Lighting Fixtures)* и французской (*French Lighting Association*) *AFE* по привлечению экспонентов и посещению выставки 2020.

– На выставке практически отсутствует представление действующих образцов технологического оборудования, как, например, в прошлом году во Франкфурте был представлен автомат по монтажу электрической схемы светильника. Предполагается ли развитие экспозиции в этом направлении?

– Это не совсем наше направление: наши клиенты заинтересованы в том, чтобы представить готовую продукцию, которая в свою очередь производится с помощью того или иного оборудо-

вания. То есть наши экспоненты являются клиентами для компаний, производящих оборудование, а это уже тема для другой выставки.

Технологическое же оборудование наших экспонентов, а также сами производственные процессы, которые не являются коммерческой тайной, мы показываем на нашем *YouTube* канале.

– Соответствуют ли тематике выставки незрительные световые технологии, такие как преобразование света в электричество и тепло, обеззараживание воды светом и др.?

– Да, эти технологии не просто соответствуют тематике нашей выставки, но и уже представлены на ней. Например, фитооблучатели для растениеводства и решения для обеззараживания воды. Со временем этот раздел будет расти, потому что спектральные особенности светодиодов открывают всё большие перспективы и возможности их применения.

– На выставке уже существуют разделы «Свет в городе» и «Новогоднее и праздничное освещение». Возможно ли появление таких разделов, как «Спортивное освещение», «Музейное освещение» и «Освещение школ и больниц»?

– Что касается существующих экспозиций, то в них участвуют монобредовые компании, для которых участие в таком формате является эффективным. Это связано с необходимостью привлечения посетителей к конкретному решению. Многопрофильные компании же заинтересованы в том, чтобы представить посетителям все решения, которые они могут предложить.

Подобный подход к организации экспозиции упрощает навигацию по выставке для посетителей.

– В экспозиции выставки практически не осталось светильников с люминесцентными, металлогалогенными, натриевыми другими «традиционными» источниками

света. Считаете ли Вы такое положение соответствующим ситуации на рынке и пожеланиям потребителей?

– С точки зрения экономии и энергоэффективности на сегодняшний день светодиоды – самая передовая технология. С другой стороны, экспоненты сами определяют, что будут представлять на выставке, какую продукцию они видят перспективной с точки зрения рыночного спроса. Поэтому с уверенностью могу сказать, что экспозиция выставки соответствует рыночному спросу.

– Деловая программа выставки с каждым годом становится всё насыщенной и разнообразней, вызывая большой интерес профессионалов в области светотехники и автоматизации. Какое место отводится в этой программе мероприятиям, посвящённым вопросам образования?

– В программе выставки есть партнёрское мероприятие по светотехническому образованию – «Молодые светотехники», организатором которого выступает кафедра светотехники МЭИ совместно с МСК «БЛ ГРУПП». В нём участвуют преподаватели, аспиранты и студенты, которые представляют свои работы в виде докладов. Мы традиционно поддерживаем и продвигаем данное мероприятие.

Для принятия решений о расширении деловой программы мы советуемся с нашими партнёрами, экспертами отрасли, анализируем мировой опыт и тенденции, отслеживаем посетительский интерес по итогу прошедших выставок. Деловая программа постоянно видоизменяется с целью соответствия спросу аудитории, это естественный процесс.

– Кто входит в Оргкомитет выставки из ведущих специалистов по светотехнике в России?

– Оргкомитет выставки занимается решением организационных и финансовых вопросов, а Экспертный совет выставки,

председателем которого является Анна Геннадиевна Шапурнянц, помогает определять векторы развития деловой программы выставки и фокусироваться на наиболее актуальных темах и направлениях отрасли. Среди ключевых участников совета – Юлиан Борисович Айзенберг и другие известные эксперты отрасли.

Мы встречаемся один-два раза в год, хотя хотелось бы чаще, поскольку выставка активно развивается и помощь экспертов нам нужна всё чаще.

– С 2019 года изменилось и время проведения выставки – она стала проходить в сентябре, на два месяца раньше. Для многих специалистов это сезон отпусков... Перенос сроков выставки – это желание компаний-экспонентов, или так удобнее посетителям выставки?

– К переносу дат выставки мы готовились не один год. Проводили опросы среди посетителей, экспонентов, а также консультировались с нашим Экспертным советом. Согласно большинству мнений, ноябрь и декабрь – это время закрытия договоров, планирования деятельности компаний на следующий год. Сентябрь же наиболее подходящий с точки зрения продаж и деловой активности.

Безусловно, для нас существовал определённый риск, но этот год подтвердил правильность принятого решения: мы не потеряли посетителей, а приобрели новых и получили положительные отзывы. Кроме того, в международной практике начало осени – наилучшее время года для проведения выставочных мероприятий. В 2020 году мы проведём выставку с 14 по 17 сентября.

**Беседовал: Евгений Серый,
корреспондент журнала
«Светотехника»**

Юбилейная выставка «Интерсвет»

С 10 по 13 сентября 2019 года в Московском Экспоцентре на Красной Пресне состоялась юбилейная двадцать пятая Международная выставка освещения, систем безопасности, автоматизации зданий и электротехники с новым названием «*Interlight Russia | Intelligent building Russia 2019*»

Впервые выставка проводилась в формате *Light+Building*. Экспозиция размещалась в четырёх павильонах: «Форум», 1, 3 и 7 (кроме нижнего яруса), причём павильон 1 был целиком предоставлен фирмам из Китая и Гонконга. Кроме того, как и в прошлом году, часть экспозиции наружного освещения была размещена прямо на улице между павильонами «Форум» и 1. В выставке приняли участие 423 фирмы из 22 стран – несколько больше, чем в прошлом году. Наибольшее количество экспонентов, как всегда, было из России, Китая, Гонконга и Кореи. Приятно отметить возвращение на выставку крупнейших российских предприятий «Ферекс» и «САРОС».

Выставка заметно отличалась от всех предыдущих. На ней не было ни одного стенда, посвящённого только источникам света, зато почти на всех крупных стендах экспонировались системы управления или их элементы. В связи с этим и обзор юбилейной выставки построен по-новому: в нём нет традиционных разделов «Источники света», «Световые приборы», «Электротехнические и прочие изделия».

Главный итог выставки можно сформулировать кратко: **начавшаяся в конце XX века «светодиодная революция» в светотехнике совершилась!** Автору обзора не удалось обнаружить ни одного нового изделия с традиционными ИС; даже на стендах фирм из Китая, на всех предыдущих выставках неизменно удивлявших разнообразием КЛЛ, в этом году их практически не было.

Светодиоды действительно произвели переворот в светотехнике. Наиболее наглядно это было представлено на трёх огромных стендах Международной светотехнической корпорации «БЛ Групп». Кроме разнообразных светиль-

ников с СД, здесь представлялись системы управления освещением (рис. 1), фрагменты осветительных и облучательных установок, в том числе для музейного освещения, световые приборы, не требующие подключения к электрической сети (автономные) и многое другое.

На рис. 2 показаны трёхгранные опоры «Antivandal Sun Pole» со светодиодными светильниками, все три боковые стенки которых покрыты солнечными батареями. Высота модуля солнечных элементов – 4 м, высота самих опор – до 12 м. Суммарная пиковая мощность батарей достигает 900 Вт. В течение светлой части суток от них заряжаются аккумуляторы, ёмкости которых даже в пасмурные дни хватает на несколько часов работы светильника мощностью до 60 Вт.

На уличной части экспозиции МСК БЛ Групп выставлена «умная опора», состоящая из набора различных модулей, необходимых для реализации концепции «Умный город». Модули обеспечивают декоративное и акцентное освещение, видеорегистрацию дорожных событий, зарядку электромобилей, звуковое оповещение граждан, беспроводный доступ в Интернет.

На рис. 3 приведён фрагмент автоматической облучательной установки «Арклайн Фито», в которой растения



Рис. 1. Система управления освещением «Бриз» (МСК БЛ Групп)



Рис. 2. Опоры с солнечными батареями (МСК БЛ Групп)

Рис. 3.
Автоматическая
облучательная
установка «Арклайн
Фито»
(МСК БЛ Групп)



выращиваются на гидропонике. Спектр излучения светодиодов может изменяться (по программе или вручную) в зависимости от вида выращиваемых растений, их возраста, времени суток и других факторов. Кроме того, в установке осуществляется непрерывный контроль и регулирование температуры и влажности.

Наиболее интересным и значимым экспонатом (на взгляд автора обзора) на стенде МСК БЛ Групп была стенка с 16-ю плоскими приставляемыми светильниками **GALAD Юниор 600** размером 600x600 мм – фактически фрагмент осветительной установки. Излучение светильников может изменяться не только по силе света, но и по цветности излучения (от тепло-белого с $T_{цв} = 2700$ К до холодно-белого с $T_{цв} = 6500$ К, а при желании и необходимости и любого цвета). Такие возможности светильников позволяют регулировать параметры световой среды в помещениях в соответствии с пожеланиями находящихся там людей, обеспечивая тем самым наилучшие условия как для работы, так и для отдыха. Именно возможность управления световой средой в соответствии с потребностями, а не экономия электроэнергии, является главным итогом «светодиодной революции». К сожалению, фотография не может передать динамику освещения, поэтому



Рис. 5. Фрагмент стенда МСК БЛ Групп



Рис. 4. Фрагмент стенда МСК БЛ Групп

автор не стал давать фото этого наиболее интересного экспоната нынешней выставки.

На стендах МСК БЛ Групп было много других интересных экспонатов: светильники для освещения административных и производственных помещений, для архитектурно-художественного и наружного освещения, макет музейного освещения (общего и экспозиционного) и др. На рис. 4, 5 и 6 показаны фрагменты стендов компании.

Очень широкий ассортимент осветительных приборов на светодиодах показал **казанский завод «Ферекс»** (рис. 7). В настоящее время завод выпускает несколько сотен типоразмеров светильников и прожекторов мощностью до 900 Вт с любыми типами КСС (от К до Ш), в том числе и во взрывозащищённом исполнении. Ряд приборов имеет возможность регулирования выходных параметров с аналоговым (1...10 В) или цифровым (*DALI* или *PLC*) интерфейсом. Необходимо отметить, что как раз во время проведения выставки три изделия этого завода были награждены премией «Золотой фотон».

Как всегда, высококачественную продукцию демонстрировало предприятие «Брайтэлек». Наиболее интересным экспонатом здесь была «Умная опора» – многофункциональный комплекс «**Ксеон смарт**». Такие опоры – это современное решение для построения систем «умного города». Они объединяют функции освещения, видеонаблюдения, оповещения, доступа к сети Интернет. Высота опор – от четырёх до восьми метров. На стенде фирмы и в уличной части экспозиции было много и других интересных изделий: уличные светильники функционального и декоративного назначения, садово-парковые светильники



Рис. 6. Фрагмент стенда МСК БЛ Групп



Рис. 7. Фрагмент стенда «Ферекс» (Казань)

ки (рис. 8), прожекторы для архитектурно-художественного освещения и др.

Оригинальную конструкцию «умной опоры», разработанную с участием МЭИ, показала фирма «Ай Ти Умный город» (Москва, рис. 9). Кроме функций опоры «Брайт-тэлк», в этой конструкции имеются: датчик состояния поверхности дороги, модуль видеоаналитики дорожного движения, метеостанция, возможность подзарядки электромобилей и электросамокатов, экран с медиасервисом, кнопка аварийного вызова спецслужб. Программное обеспечение опоры предусматривает возможности ведения архива событий и формирования отчётных документов. Кроме «умной опоры» фирма «Ай Ти Умный город» представляла изделия для создания систем управления не только освещением, но и другими элементами городской среды.

Интересные системы управления освещением и их элементы демонстрировались многими фирмами: *Vossloh Schwabe* (Германия), «*AVADA by Varton*» (входит в груп-



Рис. 9. «Умная опора» фирмы «Ай Ти Умный город» (Москва)

Рис. 8. Декоративный садово-парковый светильник («Брайтэлк», Москва)



пу компаний «Вартон»), «*ЛИИС Инженерные решения*», «*Аргос-Трейд*», «*Транс ЭТ*» (все три – Санкт-Петербург), «*Арлайт*», «*Радуга*» (обе – Москва), «*Транс-вит*» (Великий Новгород), «*Плазмаинформ*» (Рязань), завод «*Промсвязь*» (г. Юрьев-Польский Владимирской области), «*СЭТО*» (Ярославль), завод «*Электротехника и Автоматика*» (Омск), *ГК «Протон»* (г. Орёл) и другие. Как видно из этого перечня предприятий, география разработки и производства систем «умного освещения» охватывает практически всю страну. Надо сказать, что качество большинства управляющих устройств (основного элемента таких систем), как правило, высокое: практически все устройства обеспечивают надёжную работу в широком диапазоне питающих напряжений, имеют КПД более 90 %, глубину пульсаций не более 1 %, регулируются по международным стандартам *DALI* или *DMX* и 1...10В.

В обзорах прошлых выставок «Интерсвет» мне много раз приходилось писать, что разработчики и изготовители осветительных приборов игнорируют такое важнейшее условие работы светодиодов, как обеспечение требуемого температурного режима. Это приводило к тому, что реальный срок службы ОП был значительно меньше заявленного в технической документации (вместо обещанных 50000 ч светильники работали не более 5000 ч). Выставка «Интерсвет-2019» показала, что многие предприятия стали подходить к этой проблеме более ответственно – часто в каталогах и информационных листках стали встречаться сообщения о том, что светодиоды в ОП работают при пониженной мощности (50–70 %) для обеспечения большого срока службы.

Рис. 10. Светильник с сотовым радиатором («СЭТО», Ярославль)



Рис. 11. Часть уличной экспозиции



Рис. 12. Часть уличной экспозиции



Температурный режим светодиодов обеспечивается не только режимом их работы, но и качеством теплоотвода. На выставке, как никогда раньше, было представлено разнообразие профилей для изготовления светильников, являющихся одновременно и радиаторами: фирмы «Светоч» (Санкт-Петербург), «Klus Sylvestor Klus» (Польша), «Техно-Логика» (Набережные Челны), «Базис» (Воронеж), «Khatod» (Италия) и др.

Оригинальную конструкцию радиатора, защищённую патентами РФ, представило предприятие «СЭТО» (Современные Энергосберегающие Технологии Освещения, Ярославль, рис. 10). Радиатор в виде сот изготавливается литьём под давлением из алюминия или композитных материалов с высокой теплопроводностью. В соответствии с технической документацией при мощности светильника с двумя светодиодными модулями 200 Вт перегрев светодиодов по сравнению с температурой окружающего воздуха не превышает 28 К, при трёх модулях общей мощностью 300 Вт – 34 К. Это обеспечивает заявленный срок

службы и сохранение высокой световой отдачи до конца этого срока. Сотовая конструкция радиатора значительно снижает массу светильников по сравнению с другими распространёнными конструкциями. Диапазон рабочих температур – от минус 40 до + 60° С.

Конструкции светодиодных светильников в основном не изменились по сравнению с выставкой прошлого года. Однако в уличной части экспозиции встречались очень интересные и оригинальные решения (МКС БД Групп, фир-

Рис. 13. Часть уличной экспозиции



Рис. 14. Уличные светильники фирмы «Центрстройсвет» (г. Ростов Великий Ярославской области)





Рис. 15. Фрагмент стенда фирмы «Центрстройсвет» (Ростов Великий Ярославской области)

мы «SD SVET», «Брайтэлек», «Ай Ти Умный Город», «IMG Lighting», «САРОС», рис. 11, 12 и 13).

Хорошие уличные светильники были и на стендах. На рис 14 показан фрагмент большого стенда фирмы «Центрстройсвет», производственная база которой находится в Ростове Великом Ярославской области. Эта же фирма демонстрировала и хорошие светильники для внутреннего освещения административных и производственных помещений (рис. 15).

Фирма «САРОС» (Санкт-Петербург), несколько лет отсутствовавшая на выставках «Интерсвет», показала ряд светильников для наружного функционального и декоративного освещения, а также и для внутреннего освещения представительских помещений (рис. 16). Здесь можно отметить экспонат, ранее представляемый как светильник отражённого света с МГЛ. Теперь в этом же конструктиве источником света стали светодиоды, а бывший отражатель выполняет функции монтажного и теплоотводящего элемента (рис. 17).

Светильники и прожекторы для самых разных транспортных средств – от мотоциклов до сверхмощных самосвалов – были показаны белорусским заводом «ЗЕНИТ» (г. Могилёв, рис. 18). Кроме транспортных ОП, на стенде завода демонстрировались хорошие светильники для уличного и внутреннего освещения, а также элементы систем управления освещением.



Рис. 17. «Бывший светильник отражённого света» («САРОС», Санкт-Петербург)



Рис. 16. Стенд фирмы «САРОС» (Санкт-Петербург)

Несколько фирм экспонировали облучательные установки теплиц и селекционных камер. Кроме упомянутой выше установки «Арклайн Фито» (МСК БЛ Групп), такие установки показали *Vossloh Schwabe* (Германия), «Агрофотоника РМ» (г. Саранск, рис. 19), ВНИСИ, «TDM Electric», «Tungsram» (Венгрия), «Uniel» и др. Очевидно, что и в освещении теплиц светодиоды уверенно завоёвывают своё место.

В павильонах 7 и 1 поражаало разнообразие конструкций светодиодных светильников для бытовых помещений. Стенд Гусь-Хрустального завода люстр наглядно показывал, что и в дорогих хрустальных люстрах, созданных для ламп накаливания, светодиоды смотрятся очень неплохо (рис. 20). Светодиоды позволяют создавать потолочные, подвесные и другие типы светильников, форма которых определяется исключительно фантазией разработчиков (рис. 21, 22, 23).

Из источников света отметим лишь лампы фирм «Экола» (Москва) и «Nantong Feilite Lighting Technology» (Китай). На стенде «Эколы» выставлялись мощные светоди-



Рис. 18. Фрагмент стенда завода «ЗЕНИТ» (г. Могилёв, Белоруссия)

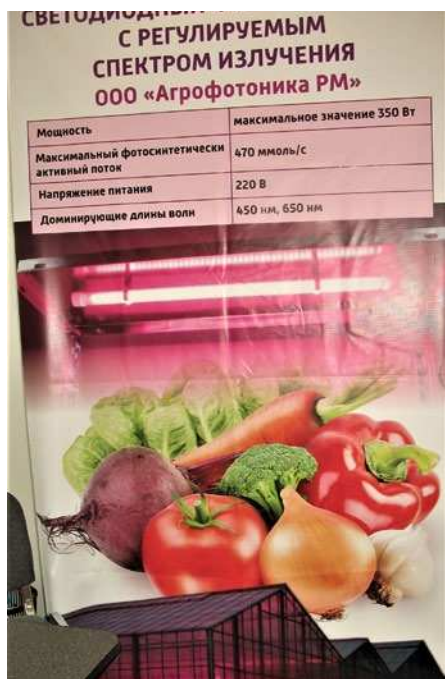


Рис. 19. Фрагмент стенда ООО «Агрофотоника РМ» (г. Саранск)



Рис. 20. Стенд завода хрустальных люстр (г. Гусь-Хрустальный Владимирской области)

одные лампы различной конфигурации (рис. 24). Лампа мощностью 150 Вт с цоколем E27 имеет специальный переходник, позволяющий устанавливать её в стандартные светильники для ламп МГЛ и НЛВД с цоколем E40. Внутри лампы имеется встроенный вентилятор, обеспечивающий допустимый тепловой режим светодиодов. На стенде китайской фирмы поражаало разнообразие типонаминов ламп: только ламп для прямой замены КГЛН с цоколями G4 и G9 насчитывалось более ста (рис. 25).

После нескольких лет отсутствия на выставке вновь появилась фирма «Ультра Лайт» (г. Железнодорожный Московской области). Оригинальные светильники этой фирмы для детских комнат (рис. 26) теперь производит завод «Трансвит» (Великий Новгород), на стенде которого, кроме них, были показаны и другие экспонаты завода, в том числе светильники с лупой, взрывозащищённые светильники, элементы систем регулирования освещения.

Взрывозащищённые светильники экспонировали не менее десяти российских фирм – былая монополия Ашинского и Гагаринского заводов в этой области окончилась.

Значительно шире, чем на предыдущих выставках, были представлены светотехнические материалы. Их выставляли «Gi Plast» (Италия), «Polinter» (Испания), «Альтаир» (Москва), «Экструзионные линии» (г. Видное Московской области), завод «ЭЛМАТ» (Калуга, рис. 27) и другие предприятия. Основным материалом для рассеивателей, защитных кожухов, линз стал поликарбонат, почти полностью вытеснивший в этой сфере ПММА и полистирол. Из поликарбоната делают рассеиватели для светильников с различными типами КСС, трубы диаметром от 15 до



Рис. 22. Потолочные светильники фирмы «Ambrela Light»



Рис. 21. Подвесные светильники «MAYTONI» (ООО «Факел»)



Рис. 23. Подвесные светильники фирмы «CATIC Lighting» (Китай)



Рис. 24. Фрагмент стенда фирмы «Экола» (Москва). В левом верхнем углу лампа мощностью 150 Вт



Рис. 25. Лампы прямой замены КГЛН («Nantong Feilite Lighting Technology») (Китай)



Рис. 26. Светильники «Ультра Лайт» для детских комнат (завод «Трансвит», Новгород Великий)

140 мм, всевозможные линзы и линзовые блоки и другие компоненты осветительных приборов. Особо выделялся стенд НПП «Альтаир», где были представлены изделия не только из поликарбоната, но и из композиционных полимерных материалов на его основе, а также суперконцентраты различных красителей, заливочные и герметизирующие материалы.

Бытовые электроустановочные изделия экспонировались многими фирмами, но выявить что-либо существ-



Рис. 27. Фрагменты стенда завода «ЭЛМАТ» (Калуга)

венно новое в этом направлении не удалось. Может быть, стоит отметить только объединённый стенд предприятий «Свет» и «Электро» Белорусского товарищества инвалидов по зрению (БТИЗ, аналог российского ВОС), где кроме самих ЭУИ демонстрировались распределительные шкафы и светильники (рис 28, 29).

Электроустановочные изделия производственного назначения были представлены единственной фирмой – ВЈВ (Германия). Здесь были и новинки: электромеханический интерфейс для наружного освещения со степенью защиты IP67 (рис. 30) и зажим-соединитель для подключения линейных светодиодных модулей в трубках диаметром 14 и 26 мм (аналоги ЛЛ типов Т5 и Т8).

Впервые в работе выставки принимал участие Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ВНИИОФИ). К сожалению, были представлены хоть и отличные, но уже давно известные светотехникам России измерительные приборы, новых разработок не было.

Также впервые в Московской выставке участвовала известная фирма «Коника Минольта», почему-то в «Путеводителе по выставке» названная нидерландской. Однако «живых» фотометрических приборов на её стенде не было, только информационные листки.

В целом Выставка оставила неплохое впечатление. Появились новые российские экспоненты («Базис», «Бра-



Рис. 28. Распределительные шкафы («Свет» БТИЗ, г. Витебск, Белоруссия)

Рис. 29.
«Деревянный»
настенный
светильник («Свет»
БТИЗ, г. Витебск,
Белоруссия)



Рис. 30. Интерфейс
для наружного
освещения со
степенью защиты
IP67 (VJB, Германия)



векс», «Волга Сталь Конструкция», «СЭТО», «Новоуральский завод металлоконструкций», ВНИИОФИ, «ДиоВатт», вернулись «Ферекс» и «САРОС», много новых изделий представили постоянные участники.

Однако более важным представляется не расширение экспозиции, а значительное повышение технической грамотности участников. В первые годы появления светодиодных светильников на выставке в обзорах мне приходилось писать о полной безграмотности экспонентов в области светотехники, когда, например, на вопрос о типе КСС стендисты с удивлением спрашивали: «А что такое КСС?». Сейчас в информационных листках большинства фирм приводятся и КСС, и общий индекс цветопередачи, и цветовая температура излучения. Многие фирмы дают и световую отдачу именно готовых изделий, а не установленных в них светодиодов. О лучшем понимании проблем обеспечения теплового режима светодиодов уже было сказано выше.

Заметным положительным явлением нынешней выставки стало резкое увеличение числа фирм, представивших системы управления освещением и их элементы. Это обстоятельство вместе с улучшением параметров светодиодов и ОП с ними позволяет надеяться на исполнение давнишней мечты – создания световой среды и условий освещения в соответствии с потребностями людей.

*Варфоломеев Л.П. – канд. техн. наук,
член редколлегии журнала*

Обозреватель-аналитик Л.П. Варфоломеев



В декабре 1997 года Леониду Петровичу Варфоломееву, в то время научному редактору журнала, поручили написать обзор Третьей международной выставки «Интерсвет». Поручение было успешно выполнено, а затем он написал ещё 22 аналитических обзора, включая обзор юбилейной 25-й выставки.

В этих обзорах хорошо отображена история светотехники за последние 25 лет: появление и широкое распространение новых источников света – ЛЛ в колбах диаметром 16 мм (типа T5), МГЛ с керамическими горелками, ГЛН с интерференционным покрытием колб, светодиодов; уход электромагнитных балластов и всё более широкое внедрение электронных; появление систем управления освещением; создание сложных комплексов «умный дом» и «умный город».

В своих обзорах Леонид Петрович не просто сообщил о появлении новых ИС и ОП с ними, но и достаточно подробно анализировал все достоинства и недостатки нового светотехнического оборудования. Так, в обзорах первых выставок, на которых появились светильники и прожекторы со светодиодами, он настойчиво обращал внимание на то, что подход к конструированию таких приборов многими фирмами осуществлялся безграмотно: не учитывались такие понятия как блёскость, защитный угол; для подавляющего большинства «разработчиков» были незнакомы термины «КСС», «световая отдача», «индекс цветопередачи» и т.п. В результате появлялись «светотехнические уродцы» с невыносимой блёскостью, в которых светодиоды работали при недопустимых температурных режимах, и реальный срок службы которых часто был не более 1000 ч вместо обещанных 100 000. Большинство таких «разработчиков» постепенно исчезали с рынка. Обзор юбилейной выставки, опубликованный в этом номере, показывает, что сегодня фирмы, производящие осветительные приборы со светодиодами, подходят к их конструированию вполне грамотно.

В обзорах выставок Леонид Петрович всегда обращает внимание не только на готовые изделия, но и на комплектующие элементы, материалы, на фотометрическую аппаратуру. В первую очередь он отмечает российские предприятия и новичков выставки.

Надеюсь, что журнал «Светотехника» ещё не раз сможет опубликовать интересные аналитические обзоры Московских международных светотехнических выставок, сделанные Леонидом Петровичем Варфоломеевым.

*Редакция и редколлегия журнала поздравляет
Л.П. Варфоломеева с необычным юбилеем и желает
здоровья и творческих успехов!*

Всё самое главное о светотехнике

К началу сентября вышло в свет четвёртое издание «Справочной книги по светотехнике» (СКС-4), выпущенное совместными усилиями редакции журнала «Светотехника», ВНИСИ и Международной светотехнической корпорации «Боос Лайтинг Групп». Предлагаем Вашему вниманию презентацию СКС-4 шеф-редактора журналов «Светотехника» / «Light & Engineering» профессора Юлиана Борисовича Айзенберга.

Идея о необходимости создания серии книг СКС – регулярно издаваемых справочных изданий – родилась ещё в 1980 году, почти сорок лет назад. И тогда была подготовлена первая редакция книги объёмом 540 страниц. Она была издана за счёт государственного бюджета «Главлитиздатом» общим тиражом 65 тысяч экземпляров. Это было рекордное издание научно – технической литературы, выпущенное в советское время.

Оказалось, что в ситуации, когда практически не издаются учебники ни по одной из светотехнических специальностей в течение почти этих же сорока лет, СКС становится не просто справочным изданием, а она начинает служить учебником и для студентов, и для инженеров. Авторам и редакторам первой СКС стало понятно, что это активно востребованное издание, обновлять и переиздавать его необходимо и полезно, что и подтвердила дальнейшая судьба книги. Второе издание СКС вышло тиражом 5000 экземпляров в 1995 году, третье – в 2006 году тиражом 2000 экз.

Новое, 4-ое издание, объёмом 900 страниц цветной печати, вышло тиражом 1000 экземпляров.

Когда редакторы СКС-4 поняли, какое количество нового материала необходимо опубликовать, то они пришли к решению все материалы, которые так или иначе устарели и были изданы в третьем издании СКС, разместить в открытом доступе на сайте журнала «Светотехника». Все данные о лам-

пах накаливания, о газоразрядных лампах низкого давления – люминесцентных и компактных лампах, о лампах ДРЛ, а также информация об электроустановочных изделиях, которые практически не изменились за прошедшее время, и многое другое, что не вошло в СКС-4 каждый может легко найти на сайте журнала.

В новой книге СКС-4 на 85 % только новейшие материалы. Эта издание на сегодняшний день объединяет всё то новое и революционное изменение в науке и в технологиях, что произошло за последние 25 лет.

Нельзя не отметить, что книга издана «под знаменем» светодиодов. Это удивительное новое полупроводниковое устройство, с одной стороны вызывает восхищение, с другой – сомнение со сто-

роны тех, кто боится всего нового. И с такой реакцией можно было столкнуться не раз, а преодолевать такое отношение весьма сложно.

Ещё в 2003 году в 3-ем номере журнала «Светотехника» была опубликована статья крупнейшего специалиста по светодиодам профессора МГУ Александра Эммануиловича Юновича. Она называлась «Светодиоды – источник света будущего». Это была пророческая статья, но ни сам автор, ни редакция журнала не предполагали, что это будущее так близко. Ведь раньше для освоения совершенно новых изделий и технологий требовались многие годы.

В 2006 году Юлиан Борисович Айзенберг, как член организационного комитета выставки *Interlight*, обратился с предложением о создании ежегодного форума по светодиодам, но оргкомитет не поддержал это предложение. И, только благодаря тому, что удалось убедить в перспективности и значимости такого предложения владельца выставки г-на Эриха Фихтнера, стало возможным решить вопрос об открытии форума по светодиодам, вопреки мнению оргкомитета выставки. С тех пор, вот уже 13 лет *Led Forum* работает, непрерывно развиваясь и расширяясь.

Внедрение светодиодов, тем не менее, шло с большими трудно-





стами. И это показательно, потому что согласно опросу, проведённому ВНИСИ по большинству организаций типа «Горсвет» по России в 2012 году, было известно, что в городах с числом жителей от 500 тысяч, в наружном освещении примерно поровну применялись лампы ДРЛ и ДНАТ. В городах с населением больше миллиона лампы ДРЛ составляли четверть всех применяемых, а остальное – лампы ДНАТ. Металлогалогенные лампы, лучшие и по светопередаче, и по многим другим параметрам, занимали только 0,6 % в общем объёме. Что касается светодиодов, то только один «Горсвет» ответил: «начинаем пробовать».

Однако административный нажим помог ускоренному внедрению светодиодов, которые начали применять, прежде всего, в государственных организациях, а вышедшее постановление Совета министров РФ о применении светодиодов, стимулировало массовое применение светодиодов во всех областях жизнедеятельности населения.

Во многом благодаря развитию светодиодного освещения человечество стоит сегодня на пороге новой эры в светотехнике – эры обеспечения комфортной световой динамической среды, меняющейся так, как это удобно че-

ловеку. А это значит, что та световая среда, о которой мечтал профессор С.Г. Юров в 1870 году, провозгласив, как основную задачу в светотехнике, создание для человека световой регулируемой для себя среды, чтобы каждый индивидум перестал зависеть от жёстких настроек световых установок, начинает осуществляться. Уже сейчас может быть решена задача, чтобы свет всегда мог быть там и тогда, где это нужно человеку и в том виде, в котором это нужно человеку. И прежде всего это – жильё, кабинеты и рабочие места на производстве, т.е. везде, где свет важен с точки зрения максимально комфортной работы или пребывания.

Всё это сейчас стало возможным, не только с появлением новых источников света, но благодаря развитию инфраструктуры для работы светотехников, сегодня она есть, она опробована и действует.

А светотехники ушли и от рутинных ручных расчётов осветительных установок к компьютерным, к машинному моделированию, которое даёт полное представление о том, какая была запроектирована осветительная установка и насколько она соответствует заложенным в ТЗ требованиям.

Другое, что нельзя не отметить – это появление систем автоматического регулирования освети-

тельных установок, как в зданиях, так и в наружном освещении, что чрезвычайно важно, поскольку даёт в руки светотехников новые многогранные возможности, а также значительную экономию электроэнергии.

Обо всём этом можно подробно узнать в новой «Справочной книге по светотехнике».

Ещё одна революция произошла в незрительных световых технологиях. Это направление, от которого зависит во многом дальнейшее развитие светотехники. Прежде всего, это облучательные установки в сельском хозяйстве, где есть ещё огромный объём работы, что было подтверждено на недавно прошедшей Международной конференции светодиодному освещению теплиц.

Другое направление незрительных технологий – значительное расширение применения ультрафиолетового излучения. Это тот же свет, при других длинах волн, выделяющий значительную энергию. Ультрафиолет используется для дезинфекции, дезодорации, для восстановления сточных вод, которые в колоссальных объёмах «вырабатываются» промышленностью и населением. Эта технология уже полностью освоена и реализована, например, под Санкт-Петербургом работает крупная установка, очищающая сточные вод бактерицидными лампами до качества чистой питьевой воды, обеспечивая большую часть города.

Ещё одно новое направление – световая локация, когда с высоко летящего самолёта или дрона можно определить все параметры облачности, важные для авиации и сельского хозяйства. Эта же технология позволяет определять дистанционно уровень созревания урожая на больших площадях.

Нельзя не сказать и о солнечной энергетике, которая играет всё большую роль. Сегодня, солнечная и ветроэнергетика имеют установленную мощность свыше 900 МВт по всему миру, и эта цифра непрерывно возрастает, потому



что это самый чистый, можно сказать, «человечный» способ добытия энергии.

Другим важным светотехническим направлением, получившим в последние годы значительное развитие, стал световой дизайн. Наряду с архитектурным освещением, световой дизайн, основанный на впечатлении, ощущении того, кто создаёт осветительную установку, становится всё более модным и увлекательным. Не удивительно, что студенты хотят стать не просто светотехниками, а светотехниками – дизайнерами. Для этого, правда, надо иметь художественный талант, хороший вкус, и, самое главное, – учиться этому.

Обо всём этом также можно подробно узнать в новой «Справочной книге по светотехнике».

Незрительное воздействие на глаз остаётся в центре внимания учёных. Два американских профессора недавно открыли, что воздействие света на глаз создаётся не только для того, чтобы восприимчивые к свету клетки, передавали нервные импульсы в мозг, и там отпечатывалась картина того, что мы видим. Оказалось, что свет оказывает огромное воздействие на всю жизнедеятельность человеческого организма.

Один из учёных, профессор Брайнерд заявил, что появилась

удивительная возможность сделать так, чтобы человек мог работать и в тёмное время суток с той же интенсивностью, что и днём, и для этого нужно только обеспечить высокий уровень освещённости, но оказалось, что это заявленное недостаточно проверено.

И в этом опасность этих, так сказать, «открытий». Дело заключается в том, что работа ночью, тогда, когда человек должен спать, нарушает циркадные ритмы человеческого организма. В ночное время темнота содействует сну и способствует выделению мелатонина – гормона сна. Если же в ночное время, когда за тысячелетия человек привык спать, его хорошо освещать, то мозг перестаёт вырабатывать мелатонин. В этом случае происходит дезорганизация всех связей в организме.

В тоже время, во многих областях деятельности человеку приходится работать в ночную смену, например в метро, на железной дороге, в больницах и в других местах. Оказалось, что молодые женщины, работающие по ночам, нередко заболевают раком молочной железы.

Всё это необходимо учитывать, при проектировании освещения, при подборе персонала. Наши юные сограждане должны оберегаться и светотехниками – не нару-

шать те циклы, которые происходят в организме.

Другая проблема: в обществе до сих пор продолжается обсуждение «синей опасности», исходящей от светодиодов. Этот вопрос волновал очень многих, потому что у первых светодиодов неравномерное распределение мощности излучения по спектру в интервале 460–480 нанометров давало большой синий пик. И, казалось, что это опасно.

Влияние синего излучения было тщательно проверено медицинскими организациями вместе с Международной комиссией по освещению. Кроме того, появились новые светодиоды с отдалённым люминофором, и новые люминофоры – сегодня никакой синей опасности не существует. Однако пока не рекомендуется применять светодиоды только в яслях и детских садах, поскольку в этом возрасте глаза у детей имеют зрачки с абсолютным пропусканием синего света. По мере взросления человека, его зрачки в гораздо меньшей степени пропускают синий цвет.

И об этих проблемах в новой Справочной книге опубликована информация и соответствующие разъяснения.

Авторы и редакторы новой СКС-4, рассчитывают, что книга окажется полезной для всех, кто интересуется светом, потому в ней можно найти ответы на абсолютное большинство вопросов по разным направлениям в многообразной науке о светотехнике.

Поэтому, было сделано всё, чтобы СКС-4 была доступна и для компаний, и для научно-технического персонала.

Новые редакции Справочной книги по светотехнике будут продолжаться выходить, но не с перерывом в 10–11 лет, как раньше, а гораздо чаще, поскольку развитие науки и техники сейчас происходит стремительно.

Корреспондент журнала «Светотехника» Евгений Серый

LED Forum: теория и практика применения светодиодов

Очередной *LED Forum* в рамках выставки *Interlight Russia | Intelligent Building Russia* работал в ЦБК «Экспоцентр» полный день 11 сентября. Как и в предыдущие годы, профессионалы светотехники обсудили на нём новые решения, разработанные компаниями, а также проблемы, которые необходимо решить в области светодиодного освещения.

Открыл форум этого года уже по сложившейся традиции обзор «Рынок систем освещения РФ: обзор, тренды, прогнозы», представленный генеральным директором «Лайтинг Бизнес Консалтинг» Сергеем Боровковым.

Согласно представленной информации, отечественный рынок ламп за прошедший год прибавил 6,2 % в денежном выражении, достигнув 45,6 миллиарда рублей, однако этот рост был обеспечен в большей степени поставками светотехнической продукции (преимущественно светодиодной) из-за рубежа, а конкретно – из Китая.

В 2018 г. средняя цена светодиодных светильников выросла на 9 %, при этом наибольший рост цен был зафиксирован в спортивном освещении (+134 %), благодаря Чемпионату мира по футболу, в агропромышленном (+33 %), в садово-парковом ландшафтном (+32 %) и промышленном освещении (+25 %).

Снижение цен было зафиксировано в сегменте *Smart Light* (-31 %), в архитектурно-художественном освещении (-27 %). Средняя цена «традиционных» светильников также начала снижение, которое за 2018 г. составило 17 %. В общем объёме рынка доля СД ламп в 2018 г. составила почти половину – 49,7 %, за период с 2016–2018 гг. эта доля выросла на 22 %.

Докладчик констатировал, что рынок светотехники РФ остаётся высококонкурентным, в 2018 г. на нём работали 1003 производителя и 1300 импортёров ламп и светильников. При этом остро стоит вопрос качества светотехнической продукции. По оценкам экспертов, 60 % ИС и ОП не соответствуют нормам. Из 40 технических критериев, которые характеризуют качество товара (конструктивные особенности, светотехнические, колориметрические и электрические параметры, энергоэффективность), лишь два регулируются техрегламентами – электробезопасность и электромагнитная совместимость.



Сергей Боровков считает, что развитию рынка светотехники во многом будет способствовать «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры до 2024 года» (распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 N207-р). Из 6,5 триллиона рублей, которые планируется потратить на транспортную инфраструктуру, значительная часть средств пойдёт на освещение дорог и магистральных трасс, морских портов, логистических центров, железнодорожных и других объектов.

Кроме того, с 2019 году из федерального бюджета РФ финансируется 19 программ по пяти направлениям: «Развитие высоких технологий» (4 государственных программы), «Социальная инфраструктура» (3 госпрограммы), «Безопасность» (6 госпрограмм), «Развитие регионов» (4 госпрограммы), «Развитие государственных институтов» (2 госпрограммы). Общий объём финансирования составит 413,7 млрд руб.

От компании *Seoul Semiconductor* с докладом «*SunLike* – технология солнечного спектра от компании *Seoul Semiconductor*: здоровье, комфорт, высокое качество света» выступил Георгий Королёв. Технология, о ко-

Технология, о которой упоминается в тексте, является темой выступления Георгия Королёва от компании Seoul Semiconductor.





торой рассказал докладчик, является совместной разработкой компаний *Seoul Semiconductor* и *Toshiba Materials*. Сместив спектр светодиодного элемента в фиолетовую область и изменив состав люминофоров, компания *Seoul Semiconductor* после многочисленных экспериментов получила LED-модули, имеющие CRI на уровне 97. Светодиоды покрыты трёхкомпонентным люминофором, преобразующим фиолетовый свет в полноспектральный с полноценной красной, зелёной и синей составляющей. Такая близость к естественному свету повышает общий комфорт человека и способствует поддержанию у него нормальных физиологических процессов.

В рамках сессии «Умное освещение городов» доклад «Перспективы развития наружного освещения Санкт-Петербурга» представил Алексей Косой, начальник отдела перспективного развития и энергосбережения СПб ГБУ «Ленсвет».

По словам докладчика, для решения вопроса модернизации наружного освещения в Санкт-Петербурге будет создан единый центр управления освещением, а также проведён ряд мероприятий, основными задачами которых являются повышение эффективности системы наружного освещения, создание комфортной и безопасной городской среды и обеспечение бесперебойной работы системы наружного освещения. Инновационная деятельность СПб ГУП «Ленсвет» будет заключаться в автоматизации и «цифровизации» систем управления и технологии передачи данных в системе наружного освещения, внедрении оборудования для снижения потребляемой энергии, применении материалов с повышенной износостойкостью и долговечностью в эксплуатации.

В перспективе предполагается через устанавливаемое оборудование *LoRaWAN/Huawei* контролировать и управлять элементами «умного города» – камерами и датчиками контроля безопасности, автомобильного движения, парковочных мест, экологического мониторинга (температуры, влажности, шума, загрязнения воздуха) и т.д.

Так, например, в настоящее время на ул. Кораблестроителей установлено и в пилотном режиме эксплуатируется 6 СД светильников с оборудованием технологии *LoRaWAN*. Другой пилотный проект с апреля 2019 г. тестируется на углу проспектов Маршала Казакова и Маршала Жукова. Там установлено оборудование АСУНО «Unilight», 20 СД светильников со световой отдачей 180 лм/Вт.

«Светоцветовая среда города: безопасность, эстетика, энергоэффективность» – доклад Дениса Крука из «Объединённой энергетической компании». Он представил реализованный проект реконструкции сети наружного освещения «Смарт-Квартал Марьино» с внедрением системы индивидуального мониторинга и управления светильниками.

В рамках реализации проекта была проведена установка складывающихся опор со СД светильниками с системой индивидуального управления и диммирования, с радиометками ОУГ-МО2. За счёт применения СД светильников произошло снижение энергопотребления в 1,84 раза (45,5 %). Расчётная экономия в год составит 510 тысяч рублей

11 сентября состоялась сессия *LED Forum* «Музейное освещение», организованная выставкой совместно с ВНИСИ им. С.И. Вавилова и Секцией «Музейное освещение» НТС «Светотехника».

Сессия, проходившая под председательством заместителя директора Государственного Эрмитажа Алексея Богданова, была посвящена вопросам актуализации стандартов в области освещения музеев и обсуждению стандартов, разработанных сотрудниками ВНИСИ им. Вавилова. Разработке современных стандартов музейного освещения был посвящён постановочный доклад Александры Барцевой из ВНИСИ им. С.И. Вавилова. Представленные докладчиком предложения по актуализации требований к музейному освещению вызвали активный отклик музейного сообщества: со своими комментариями и предложениями выступили Любовь Волгина из Государственной Третьяковской Галереи и Алевтина Шулинина из Государственного Исторического музея.

Особое место заняло обсуждение новых подходов к освещению музеев и презентации успешных решений в этой области. С докладом «Опыт устройства освещения с использованием современных источников света в исторических музейных интерьерах и светильниках» выступила Екатерина Балахнина из Государственного Эрмитажа, а об опыте компании «Точка опоры» в экспозиционном освещении рассказал представитель компании Николай Кухтин. Глава представительства *ERCO Lightning GmbH* в России Роман Мильштейн представил доклад «Локализация зон экспозиции в объёмных выставочных пространствах посредством проектирования световой среды на примерах музея железных дорог России, Миланского собора и других объектов».

По итогам сессии было решено продолжить взаимодействие между светотехниками и представителями музейного сообщества в рамках работы секции НТС «Светотехника», посвящённой музейному освещению.

Кроме того, в рамках *LED Forum* прошли панельные дискуссии по следующим темам:

- «Настоящее и будущее рынка LED-технологий», модератором которой выступил Евгений Долин, «Ассоциация Производителей Светодиодов и Систем на их основе» (АПСС);
- «Умное освещение городов», модератор: Алексей Соколов, главный эксперт ООО «Элмонт-Инновации».

Корреспондент журнала «Светотехника»
Евгений Серый



СветоСервис **СОЧИ**

ООО «Светосервис-Сочи»

Гарантия высокого качества жизни жителей города

Благоустройство придомовых территорий, прокладка высоковольтных линий, а также монтаж приборов учета – уникальный для нашей страны опыт. При разработке проекта главным условием было вовлечение жителей в работу по созданию нового облика наших городов. Им дана возможность не только решить, как будут потрачены средства, но и вести контроль за реализацией.



354055, г. Сочи,
ул. Тоннельная, 2Б



www.svetoservis.ru



+7 (968) 300-63-30
+7 (862) 296-54-40

Встреча коллег. Чествование академика Ю.Б. Айзенберга



9 сентября состоялась встреча участников открывшейся Международной конференции по светодиодному освещению теплиц и начинающейся на следующий день (10 сентября) юбилейной Международной светотехнической выставки *Interlight Russia | Intelligent building Russia 2019*.

Встреча была организована по приглашению председателя отраслевого НТС «Светотехника», заведующего кафедрой светотехники НИУ «МЭИ» Г.В. Бооса, отличающегося исключительным гостеприимством.

После длительного обмена информацией и обсуждения деловых вопросов между участниками встречи, руководивший встречей Г.В. Боос предложил присутствующим провести чествование старейшего учёного-светотехника страны академика Ю.Б. Айзенберга в связи с выходом в свет четвёртого издания «Справочной книги по светотехнике», приуроченного к открытию выставки.

На встрече присутствовало около сотни специалистов, а также руководители международных организаций МКО и МЭК (П. Блаттнер, А. Пителю, А. Шольц).

Георгий Валентинович в своей темпераментной речи охарактеризовал Юлиана Борисовича как всемирно известного учёного, посвятившего свою творческую жизнь светотехнической науке и промышленности нашей страны, как человека, проложившего с коллегами новые пути в науке.

Ю.Б. Айзенберг воспитал целую плеяду известных учёных нашей страны, был светотехническим наставником ряда видных деятелей промышленности.

Г.В. Боос назвал Юлиана Борисовича своим учителем, общение с которым ему очень многое дало, к каждому слову которого он внимательно прислушивался и запоминал!

Отдельно важно подчеркнуть, что Ю.Б. Айзенберг проработал непрерывно во ВНИСИ и отрасли более 65 лет, что был успешным руководителем журнала «Светотехника» более 50 лет, основателем и руководителем журнала «*Light & Engineering*», основал серию «Справочных книг по светотехнике».

По словам Г.В. Бооса, Ю.Б. Айзенберг – удивительный человек-легенда, пользующийся всеобщим уважением, высший научный и моральный авторитет в светотехнической отрасли.

Удивительное сочетание талантов в области науки и конструирования, организационный дар и редкий талант дипломата, решающего сложные жизненные вопро-

сы легко и без осложнений благодаря всегда доброжелательному и уважительному подходу к людям.

Какую надо было иметь эрудицию, чтобы полвека руководить таким многоплановым журналом, какое надо было иметь терпение, выдержку и умение общения с высоким руководством и крайне разными научными работниками специалистами. Это в условиях непрерывно меняющейся политико-экономической ситуации в стране, при этом не только сохранить журнал, но постоянно повышать его научно-технический уровень.

С высокой оценкой деятельности Ю.Б. Айзенберга выступил президент МКО П. Блаттнер, сказавший, что специалисты разных стран объединённых МКО, хорошо знают Ю.Б. Айзенберга и его труды. Особо выделил г-н Блаттнер созданную Юлианом Борисовичем с соавторами гелиостатно-световодную систему «*Heliobus*» в Швейцарии и успешно работающую там уже более четверти века.

В заключение чествования Г.В. Боос исполнил для Юлиана Борисовича и в его честь ряд любимых песен и пожелал здоровья, творческого долголетия и многих радостей.

Присутствующие аплодисментами присоединились к этим пожеланиям. В ответном слове Юлиан Борисович сказал: «Дорогой Георгий Валентинович, я чрезвычайно благодарен Вам за такое великолепное и для меня совершенно неожиданное чествование. Я восхищён тем, что и как Вы это сделали. Я не могу выразить словами нахлынувшие на меня чувства, но Вы нарисовали яркими красками идеальный портрет человека и специалиста. Мне ещё очень далеко до этого идеала. Я всю жизнь пытаюсь продвигаться по дальней дороге к этой цели. А впереди ещё длинный путь, который ведёт к совершенству, и пройти его до конца почти невероятно!

Ещё раз огромное спасибо, Георгий Валентинович, Вам! Я бесконечно благодарен и глубоко тронут всем происшедшим. Благодарен господину Блаттеру и всем моим коллегам и друзьям, сидевшим в зале и приветствовавшим меня».

От редакции

Сотрудники редакции и члены редколлегии присоединяются к сказанному Г.В. Боосом и благодарят его за такое великолепное чествование своего руководителя Ю.Б. Айзенберга.

От нас хотим добавить, что Ю.Б. Айзенберг разработал и внедрил в производство со своими учениками целый ряд новейших изделий, в том числе принципиально новые осветительные устройства с полыми протяжёнными световодами, основал московский Дом Света, является автором 10 книг по светотехнике и нескольких сотен статей в научных журналах и соавтором многих отечественных и международных патентов, единственным в отрасли Заслуженным изобретателем РФ.

Конференция «Искусство света»

18 октября в МГХПА им. С.Г. Строганова прошла Международная научно-практическая конференция «Искусство света: дизайн, архитектура, художественное и проектное творчество».

Конференция была организована совместно редакцией журналов «Светотехника»/ *Light & Engineering*, при участии Национальной академии дизайна и МАРХИ в целях привлечения международной и российской научной и творческой общественности, педагогов и учащихся к осмыслению роли света и светодизайна в художественном творчестве и проектном формировании предметно-пространственной среды, самоидентификации профессии светодизайнера и особенностям светодизайна в подготовке архитекторов и в дизайн-образовании.

Открывая конференцию, Александр Николаевич Лаврентьев, доктор искусствоведения, профессор, проректор по научной и международной работе МГХПА им. С.Г. Строганова, член НАД, сказал: «На этой конференции мы бы хотели найти точки пересечения научных, художественных и культурных ценностей, потому что свет – он всё объёмлет. Если мы не будем этим заниматься, то обедним

и нашу сферу, и, в каком-то смысле, и техническую сторону – ведь они не могут существовать по отдельности. А наша конференция представляет собой некую технокультурную площадку, на которой можно будет найти пути взаимодействия этих двух направлений человеческой деятельности».

Юлиан Борисович Айзенберг, академик, д.т.н. профессор, шеф-редактор журналов «Светотехника» и *Light & Engineering* отметил: «Недооценка значения роли света, зрительного восприятия – это проблема, которая нас беспокоит. Природа света, природа зрительного восприятия должна быть в арсенале любого дизайнера, поэтому в прошлом году на страницах нашего журнала прошла большая и жаркая дискуссия о световом дизайне.

А интересантов по этой тематикой должно быть гораздо больше и среди творческих людей: и преподавателей и студентов художественных ВУЗов, и среди уже состоявшихся художников. И мы приехали на эту конференцию чтобы убедить её участников в важности активного содружества и развития того дела, которому мы посвятили свою жизнь».

Владимир Павлович Будаков, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО НИУ МЭИ, главный редактор журнала «Светотехника» и *Light & Engineering* подчеркнул: «Благодаря светодиодной революции появилась возможность не только освещать, а создавать образы и даже монументальные произведения из света. А компьютерная графика дала возможность предварительно видеть, что мы проектируем, т.е. мыслить образами. А тому, как мыслить образами проектировщиков не учили, поэтому рассчитываю на то, что такая предварительная возможность раскроется на этой конференции. Тема объединения технических наук и дизайна уже созрела. Она крайне необходима, хотя, как это сделать не до конца ясно».

Участники выслушали 28 докладов и сообщений по тематике конференции сделанных как уже известными дизайнерами и светотехниками, так и студентами и аспирантами столичных вузов.

В том числе доклады:

- С.Курасов, В. Будаков, Н. Щепетков «Предисловие. Искусство света: наука, техника, образование и проектно-художественное творчество»
- А.Басов, В. Будаков, А. Гримаило «Отражение света реальными поверхностями»
- В.Горелова «Экологические тенденции в проектировании световой среды. Опыт HCL»
- А.Приходько «40 минут в цветном свете!»
- Е.Заева-Бурдонская, Ю. Назаров «Светодизайн. В свете проблем новой профессии»
- С.Ивентьев «Духовно-нравственный аспект световой архитектуры»
- М.Майстровская «Свет в экспозиции: функция и образ»
- М.Круглова «Мировая практика *Groupe Leblanc*. 60-летний опыт в оформлении городских общественных пространств» и другие доклады.

Почти каждое выступление заканчивалось оживлённой дискуссией между слушателями и докладчиком.



Фото А. Лазарева

Подготовил Евгений Серый

Дискуссия о светотехническом образовании

12 сентября 2019 года в рамках выставки *Interlight Russia | Intelligent building Russia* в ЦВК «Экспоцентр» состоялось заседание секции «Светотехническое образование и методология» отраслевого Научно-технический совета «Светотехника». Модератором заседания выступил главный редактор нашего журнала профессор В.П. Будаков.

Мы публикуем представленные на заседании доклады и сообщения и предлагаем всем заинтересованным лицам – работодателям и выпускникам кафедры «Светотехника» НИУ МЭИ – на страницах нашего журнала высказывать предложения о **совершенствовании системы обучения**, непосредственно участвовать в улучшении материальной базы кафедры с целью повышения качества как выпускников, так и курсов повышения квалификации сотрудников.

Доклады

Мирошникова И.Н., Директор ИРЭ «НИУ «МЭИ»:

В 2017 г. журнал «Светотехника» организовал дискуссию по вопросу формулы специальности, при этом было сделано следующее обобщение: «Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются разработка способов генерации, пространственного перераспределения оптического излучения, а также его преобразования в другие виды энергии и использование в различных целях».

В связи с этим возникает сразу несколько вопросов, главным из которых является: Чему учить? Способам генерации оптического излучения? Преобразования его в другие виды энергии (и в какие именно)? Использованию в каких «различных целях»?

Именно поэтому необходим конструктивный диалог с основными работодателями выпускников кафедры, а где же его организовать, как не на страницах нашего журнала? В № 2 журнала «Светотехника» за 2019 г. была опубликована статья, направленная на открытие дискуссии по вопросам перспективы развития кафедры в связи с переходом на ФГОС 3++.

В настоящем докладе хотелось бы затронуть два вопроса:

1. Правильно ли выбрано направление обучения студентов?

2. Какова роль работодателей в учебном процессе?

Казалось бы, что обсуждать по первому вопросу? Направление «Электроника и нанoeлектроника» является правопреемником направления «Электроника и микроэлектроника», обучение по которому проводилось с 2010 г. Однако при переходе на ФГОС 3++ необходимо ответить на вопрос: светотехника – это нанoeлектроника или электротехника? Этот вопрос возникает в связи с тем, что несмотря на то, что обучение студентов велось по направлению «Электроника и нанoeлектроника», специалисты высшей квалификации, т.е. кандидаты и доктора наук защищались и продолжают защищаться по специальности ВАК 05.09.07 «Светотехника», относящейся к группе специальностей 05.09.00 – «Электротехника». Известно, что в настоящее время в высшей аттестационной комиссии идёт обсуждение совершенствования номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, но переход светотехники в группу электроники даже не рассматривается. В связи с тем, что производство светодиодов и лазеров на квантовых ямах в России, вероятно, отодвинуто на годы или десятилетия, данный вопрос остаётся актуальным.

По второму вопросу. При переходе на ФГОС 3++ появляется возможность сделать выбор вида профессиональной деятельности. Варианты деятельности предлагаются следующие: проектно-конструкторская, производственно-технологическая, научно-исследовательская, организационно-управленческая, монтажно-наладочная, сервисно-эксплуатационная. Конечно, выпускники кафедры принимают участие во многих направлениях, но как образовательная организация НИУ «МЭИ» должен сделать выбор, а здесь необходимо учитывать мнение наших основных партнёров.

Следующий вопрос: каких компетенций (знаний, умений) не хвата-

ет нашим выпускникам? Какие дисциплины им надо читать? Чаще всего называются теоретические основы электротехники (ТОЭ), схемотехника. Традиционно студентам бакалавриата читаются дисциплины общие физико-математические, технические и специальные. Возможно, надо усилить базовые дисциплины, например, ТОЭ? Может быть, что-то потеряло актуальность в специальных дисциплинах?

Важным вопросом является отбор студентов – проходной балл абитуриентов. Проходной балл в 2019 г. в ИРЭ – 207, на ИЭТ – 208, что существенно (на 14 баллов) выше, чем в 2018 г. После 3 семестра студенты выбирают кафедру, на которой будут продолжать обучение. С точки зрения администрации, этот выбор должен осуществляться сознательно. К сожалению, зачастую студенты выбирают ту кафедру, на которой, по словам «старших товарищей» «легче учиться»: где «ставят меньше двоек»; где преподаватель моложе и энергичнее; где лучше отремонтированы помещения и стоит современное оборудование. К сожалению, именно с таким приоритетом.

При этом, согласно профессиональным стандартам, выпускники бакалавриата должны заниматься проектированием объектов светового дизайна и осветительных установок, а после окончания магистратуры – выполнять концептуальные решения по объектам светового дизайна и проектированию осветительных установок.

Основная проблема – **недостаточный уровень мотивации обучающихся к получению знаний, умений и навыков, необходимых для успешной профессиональной деятельности**. Как повысить эту мотивацию? У нас пока нет ответа на этот вопрос.

Необходимо подчеркнуть, что теперь возможно действительно готовить студентов для конкретного работодателя, достаточно заключить договор о целевом обучении между студентом и работодателем.

Это не полное обучение студентов, а возможность посмотреть молодых людей во время практик (в том числе преддипломных), научно-исследовательских работ, это гарантия, что выпускники отработают три года на вашем предприятии, и ваше дело – продлить с ними контракт или распрощаться.

Надо чётко понимать, что техническое образование невозможно без материальной поддержки – необходимо техническое оснащение учебных и научных лабораторий современным оборудованием, однако в ФГОС 3++ остались общие слова: «организация должна располагать на праве собственности или ином законном основании материально-техническим обеспечением образовательной деятельности (помещениями и оборудованием)».

Я повторюсь, но любой университет опирается на своих партнёров, рассчитывает на материальную поддержку: необходимо техническое оснащение учебных и научных лабораторий современным оборудованием. В этом отношении очень интересен опыт института электроэнергетики (ИЭЭ НИУ МЭИ), где представители предприятий (Федеральная сетевая компания, завод «Изолятор», АО «Московская областная энергосетевая компания», ПАО «МОЭСК», ПАО «Россети») не только предлагают использовать своё оборудование в процессе обучения в расчёте на то, что именно это оборудование выпускники МЭИ будут рекомендовать уже своим работодателям, но и ремонтируют аудитории, оснащая их рекламой своих предприятий.

Мне кажется, что не только предприятия группы «ВЛ», но и «Световые технологии», «Точка опоры» и другие могли бы поспособствовать не только улучшению внешнего вида НИУ «МЭИ», но и продвижению рекламы своих предприятий среди молодёжи.

Будак В.П., главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering»:

Вызовы времени

В науке и образовании действует закон отрицания отрицания: например, создаётся коллектив для решения конкретной задачи. Коллектив либо решает поставленную задачу и его распускают, либо не решает, и в этом случае его также распускают. Успешный коллектив может сохраниться, переосмыслив задачу, расширив её границы и вернуться по спирали к решению задачи на новом уровне.

Инженерные специальности возникли с возникновением индустрии, их облик и номенклатура изменяется с изменениями в индустрии, с каждой индустриальной революцией.

В настоящее время мир переживает вторую цифровую революцию, когда в цифровую форму переводится даже то, что ранее и не предполагалось: например, профессия водителя такси. Особенностью этой революции смена знаний быстрее пятилетнего срока обучения в университете, что, естественно, требует пересмотра системы подготовки инженеров. Необходимо отметить доступность знаний через Интернет, так что не имеет смысла в образовании сосредотачиваться на общих местах. Поэтому не изменимся мы сами – нас твёрдо изменят сверху.

Краткая история инженерного образования

Высшее образование, первые университеты. В 1088 г. возник Болонский университет, в 1208 г. – Парижский. По своей сути это был один из процессов, характерных для Эпохи Возрождения – возврат к греко-римской культуре. Важнейшее назначение университетов – подготовка чиновников, священников: изучения «семи свободных искусств» – «Тривиум» (грамматика, логика, риторика) и «Квадривиум» (арифметика, геометрия, музыка, астрономия).

Инженерное образование – дитя промышленных революций: инженер – от фр. *Ingénieur*; лат. *ingenium* – изобретательность, чему и следует учить!

Университеты были по большей части церковными, а первые инженерные институты – королевскими, государственными или обучением в цеху, в мастерских. Во Франции это были в 1747 г. – Школа мостов и дорог (*École des ponts et chaussées*), в 1748 г. – Королевская инженерная школа (*École royale du royale du génie*). Решение государственных задач – создание транспортной инфраструктуры, развитие горной и военной промышленности, морского дела.

С момента своего рождения сущностью инженерного образования было сочетание фундаментальной научной подготовки с практической подготовкой, инженер мог выполнить любую операцию не хуже квалифицированного рабочего.

Инженерные школы

В условиях разрушенной государственности в Германии инженерное образование формировалось как часть университетского с преобладанием

практического обучения. Первоначально оно считалось ниже университетского. С 70–80-х гг. XIX в. после переноса университетского подхода к инженерному образованию возникает немецкая инженерная школа, которая уже к концу XIX в. стала сильнейшей в мире и оказала влияние на другие страны.

В Англии не существовало системы инженерного образования, её заменяла практика тренинга молодых специалистов непосредственно в компаниях – *apprenticeship system*.

Неким средним путём пошла Америка: здесь не было аристократии в европейском смысле, главный принцип – либерализм – нельзя за государственный счёт помогать конкретной компании

Окончательно инженерное образование оформилось когда выделились: мастер, техник и инженер.

Российская инженерная школа

Российская инженерная школа возникла на государственной основе: в 1701 г. Пётр I создал Школу математических и навигацких наук в Москве в Сухаревой башне. Спустя столетие, 20 ноября 1809 г., Александр I учредил Корпус и Институт инженеров путей сообщения.

С.П. Тимошенко, в 1920-х гг. эмигрировавший из СССР в США, активно участвовавший в создании Стенфорда и Массачусетского Технологического института, писал, что «инженерные школы развились в России гораздо раньше, чем в Америке, и роль русских инженеров в развитии инженерных наук весьма существенна».

Промышленный подъём в России в конце XIX века был бы невозможен без работы Санкт-Петербургского политехнического института имени Петра Великого, который дал крупнейших в СССР специалистов – П.Л. Капицу, Н.Н. Семёнова, Ж.И. Алфёрова, А.Ф. Иоффе, И.В. Курчатова, А.А. Радцига, Ю.Б. Харитона, О.К. Антонова, предложивших идею нового инженерного образования. Идея физтеха состояла в том, что инженер – одновременно учёный, технический специалист и организатор промышленного производства.

Именно методология физтеха и является основой современного инженерного образования.

Практические выводы:

• Двухуровневая система образования «бакалавр – магистр»: принята и не отменить, оправдана – выбор в 17 лет специальности неокончательный: не ясно, что надо – высоких теорий или побыстрее крепко стоять на ногах.

• Бакалавр – специалист, который нужен работодателю – советский техник.

• Техник – отлично работает руками, практик, но от освоенной практики можно перейти к теориям: советский опыт показывает успешность техника – инженера.

• Лучший способ формирования техника – не схоластическое образование (лекции, семинары, «лабы» по предметам), а практическое по объектам – конкретные проекты, вокруг которых создаётся теоретическое окружение.

• Образование должно быть шире области работы – новое определение специальности «светотехника», важно, чтобы мы перекрывали все направления в светотехнической отрасли

Сформулировать «теорминимум» по Ландау подготовки бакалавра и магистра в светотехнике, по нему определить дисциплины, написать и издать учебники.

Бакалавр – техник:

• Техник по светотехнике с проектным образованием – проектировщик ОУ

• Теоретическое образование вести на основе программ, например *DIALux*

• Лаборатории по монтажу и измерению реальных ОУ

• Специалист по оптическим измерениям – базовый курс фотометрии

• Электрические цепи питания ОУ

• Системы управления ОУ – монтаж систем управления

• При работе над проектом обучение величинам: яркость восприятие сцены, освещённость – действие источника, точечный источник – КСС и др.

• Основные проекты: офис, класс, магазин, театр, уличное освещение, подсветка зданий, спортивные сооружения и др.

• Одновременно – базовое образование по теорминимуму – мировоззрение: теория светового поля, основы прикладной оптики, фотометрия – базовый курс, и т.д.

Всегда есть очень талантливые бакалавры, необходимо развивать внеучебные формы образования, которые позволят в теории двигаться глубже и дальше.

Магистратура – «штучный товар»:

• Магистр – специалист, глубоко понимающий теорию, разработчик: сейчас нет проблем произвести, проблема – продать, а это, прежде всего, создать новое.

• Возможно при узкой специализации, а потому должна преобладать подготовка под заказ по существующим направлениям на кафедре – НИР в научной группе по теме диссертации.

• Реализация желаний работодателя: оплата специальной программы.

• Общие предметы высокой теории: Оптика, Фотометрия II, Материалы, Измерения в колориметрии, Физиологические измерения, Фотобиология, Светодизайн, Источники света, Оптико-электронные системы.

• Магистра не напичкать знаниями, а развитие способностей формулировать новые задачи, предлагать новые решения – креатив: НИР в научной группе, развитие семинаров научных групп, кафедральный научный семинар.

• Светотехника – единство технических и художественных концепций.

Обучение магистров – университетское по фундаментальным дисциплинам с обучения у мастера в цеху.

Современное инженерное образование – *made in Russia!* Надо не нам идти за министерством, а предложить наше видение. *Самое заинтересованное лицо в развитии светотехники – Отраслевой НТС «Светотехника»!*

Дискуссия

Юшков Д.Д.: Куда относится специальность «светотехника»? Почему бакалавр и магистр это нанозлектроника, а аспирантура – электро- и теплотехника? Можно ли изменить и куда перейти?

Цеховое образование должно быть получено на ступени бакалавра и углублено на ступени магистра с учётом выбранной специализации, направления совершенствования.

А аспирантура – это способность решить известную теоретическую проблему или важную народно-хо-

зяйственную (техническую) задачу, победить на крупном конкурсе, реализовать масштабный светодизайнерский проект оригинальным способом.

Далее – доктор наук (к образованию не относится, но для полноты картины) – вклад в развитие нового направления, организация новых подходов.

Снетков В.Ю.: Необходимо изменить наше научное направление по защитам диссертаций, чтобы оно соответствовало направлению обучения студентов «Электроника и нанозлектроника». Увеличить роль курсовых проектов и курсовых работ, а также лабораторных работ нужно, но это будет возможно только, если работодатели помогут с финансированием, лицензионными программами и конкретным оборудованием. Для подготовки выпускных работ бакалавров и особенно магистров просто необходимы реальные хозрасчётные НИР. Пока же мы рады помощи в этих вопросах от МСК «БЛ ГРУПП». Приветствуем и разработку профессиональных светотехнических стандартов от ВНИСИ им. С.И. Вавилова.

Мешкова Т.В.: Знать современные программы моделирования светотехнических систем и приборов *SolidWorks, TracePro*, конструкторская подготовка, больше прикладного, конкретные проекты, технология производства, светодиоды, вместо лекций – мастер-классы.

Макаров Д.Н.: Реальные проекты, не посчитать, а создать освещение объектов. Практическая реализация, подготовка презентаций по маркетингу. Набор курсов: архитектурное освещение, мастер-классы по проектированию, развитие творчества.

Черняк А.Ш.: Определение специальности. Очень важны знания по электротехнике. Выпускник должен уметь монтировать сети освещения не хуже электромонтёра. Светодизайн, архитектурное освещение. Развитие творческих способностей, чувства меры.

Ознакомление с производством светотехнической продукции хотя бы в формате посещений предприятий, а лучше производственных практик.

Навыки в экспериментальных исследованиях, освоение современных измерительных приборов – фотометрических, колориметрических и электротехнических. Может быть ознакомление с современными материалами, используемых в светотехнике.

Карев А.А.: Нужно развивать сотрудничество со всеми компаниями в образовании, конструировании световых приборов. Разработка и производство систем управления источникам света, сейчас – век электроники. Материаловедение. Навыки работы в *SolidWorks, SolidWorks PDM, Solid Works Flow Simulation* (тепловые и прочностные расчёты), *PLM*-системах. Знание норм ЕСКД и ЕСТП. Навыки проектирования деталей, выполняемых методом литья пластика под давлением, литья алюминия в ПГФ, фрезерной и токарной обработкой алюминия, гибкой и пробивкой листового металла. Основы оптики и навыки проектирования и конструирования оптических систем светового прибора.

Основы схемотехники, навыки проектирования печатных плат в *Altium*

Designer (или схожем ПО), проведение электрических измерений. Расчёт и проектирование систем квантовой и оптической электроники. Программные средства автоматизированного проектирования (*MatLAB, MathCAD*). Компьютерная графика в светотехнике (*DIALux EVO, DIALux 4, Autodesk 3ds MAX, Adobe Photoshop, RELUX, SketchUP*). Метрология, стандартизация и сертификация. Отраслевые протоколы управления освещением.

Новаковский Л.Г.: Важна высокая физико-математическая подготовка, умение работать с реальными измерительными приборами. Изобретательность, инновационная деятельность. Автомобильные СП – сложные приборы. Это адаптивные оптико-электронные системы. Нужна технологическая подготовка, знания в материаловедении. Светодизайн – нужны преподаватели из Строгановки.

Туркин А.Н.: Не стоит забывать о физико-математической подготовке, включении необходимых разделов физики и математики в инженерные курсы.

Смирнов П.А.: На мой взгляд, теория переноса излучения – основа специальности.

Ходырев Д.М.: Специалистам-выпускникам в области светотехники сегодня, как никогда прежде, требуется понимание сопряжённых электротехнических и инженерных систем: электротехники, телекоммуникаций, систем управления. Источник излучения сегодня становится оконечным устройством в системах верхнего уровня. И даже сугубо теоретические разработки в области распространения или природы света сегодня острее связаны с электротехникой

СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «СВЕТОТЕХНИКА» ЗА 2019 ГОД

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ

Дарула С. Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения. № 1. С. 6–20.

Торнз П. Обзор текущего состояния и перспектив развития стандартизации в области искусственного освещения. № 2. С. 14–29.

Барцева А.А., Боос Г.В., Черняк А.Ш., Кузнецова А.Б., Розовский Е.И. Состояние музейного освещения в России. № 6. С. 45–51.

БИЗНЕС И ИННОВАЦИИ

№ 1. С. 20, 68, 79; № 2. С. 29, 33, 39, 43, 46, 81, 90; № 3. С. 32, 41, 58; № 4. С. 28, 37, 51, 58, 70; № 5. С. 12, 19, 28, 48, 53, 63, 75; № 6. С. 11, 18, 36, 44, 66.

ДИСКУССИЯ

Серый Е.С. О возможной системе рейтингов в светотехнической отрасли. № 3. С. 80–81.

Боровков С.А. Рейтингование осветительных установок как необходимость для светотехнического рынка РФ и стран ЕАЭС. № 3. С. 81–84.

Будак В.П., Ковыркова М.Д., Макаров Д.Н., Минаяева С.Ю., Скорнякова А.А. Светодизайн: воспитание творческих способностей у студентов-светотехников. № 1. С. 80–83.

Будак В.П. Дискуссия о светотехническом образовании № 6. С.90–93.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Спиридонов А.В., Умнякова Н.П. Обследование состояния (общее и инструментальное) исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина. № 1. С. 39–43.

Спиридонов А.В., Умнякова Н.П. Обследование состояния исторических светопрозрачных покрытий ГМИИ им. А.С. Пушкина. № 4. С. 47–51.

Соловьёв А.К., Жуйпу Б. Выбора площади оконных проёмов жилых зданий в условиях муссонного климата Дальнего Востока РФ и северных районов КНР. № 5. С. 49–53.

Леонидов А.В. Изменения естественной облучённости и освещённости земной поверхности в 11–летнем цикле солнечной активности. № 6. С. 14–18.

ИСТОРИЯ СВЕТОТЕХНИКИ

Лесман Е.А., Федорищев П.А. Светотехническое общество России: от учредительного съезда советских светотехников до первой интернет-конференции. № 5. С. 94–96.

ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Левченко В.А., Васина В.Н. Индукционная УФ лампа на основе ртутного разряда НД в замкнутой бесферритной трубке. № 2. С. 44–46.

Нестеркина Н.П., Коваленко О.Ю., Журавлева Ю.А. Анализ характеристик светодиодных ламп с колбой Т8 разных производителей. № 3. С. 59–63.

Гавриш С.В. Особенности конструкции ксеноновых ламп СВД с сапфировой оболочкой. № 3. С. 72–78.

Карли Н., Сперлинг А., Бизяк Г. Реализация лабораторного образца настраиваемого многоцветного источника света. № 5. С. 13–19.

Ерохин М.М., Камшилов В.Г., Терехов В.Г., Туркин А.Н. Исследование характеристик светодиодов для фитооблучателей. № 5. С. 42–48.

Ловля Е.В., Попов О.А. Мощность потерь в индукторе бесферритных индуктивных ртутных ламп низкого давления в замкнутых разрядных трубках. № 6. С. 19–22.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Катаев М.Ю., Даданова М.М. Методика распознавания растительности на основе цветового и текстурного анализа RGB изображений. № 2. С. 34–39.

Спирidonov А.В., Умнякова Н. Компьютерное моделирование и рекомендации по реставрации исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина. № 2. С. 72–76.

ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И НЕЗРИТЕЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕТА

Вассерман А.Л. Измерение бактерицидного потока ультрафиолетовых трубчатых ртутных ламп низкого давления. № 1. С. 69–72.

Мондал А., Гхош К. Исследование гербицидного действия ультрафиолетового излучения на старые бумажные документы. № 2. С. 48–53.

Белов В.В., Абрамочкин В.Н., Гриднев Ю.В., Кудрявцев А.Н., Тарасенков М.В., Федосов А.В. Бистатическая подводная оптико-электронная связь. Полевые эксперименты в 2017–2018 гг. № 2. С. 67–70.

Большин Р.Г., Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г. Облучательная установка с УФ диодами и микропроцессорной системой автоматического управления дозой. № 2. С. 78–81.

Гашпер Ч. Жизнь пожилых людей: освещение, циркадные ритмы и дименция II. № 3. С. 6–10.

Карев А.В., Лёскин Д.С. Оперативный контроль фотобиологической безопасности светильников со светодиодами. № 3. С. 11–14.

Белов М.Л., Всякова Ю.И., Городничев В.А. Оптический метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности в УФ спектральном диапазоне. № 3. С. 15–21.

Аллаш М.Е., Василяк Л.М., Елисеев Н.П., Попов О.А., Соколов Д.В. Тестирование и анализ характеристик ртутных и амальгамных бактерицидных УФ ламп НД разных производителей. № 3. С. 24–32.

Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. Оптимизация светотехнических параметров облучения при светокультуре салатно-зелёных растений с использованием светодиодных излучателей. № 4. С. 6–13.

Агила Дель А., Ефременко Д.С., Траутманн Т. Обзор методов снижения размерности при обработке гиперспектральных оптических сигналов. № 4. С. 60–70.

Терехов В.Г. Система облучения для автоматизированной многоярусной фитоустановки типа «City Farm». № 5. С. 59–63.

ОБМЕН ОПЫТОМ

Айзенберг Ю.Б. Международная деятельность в области светотехники профессора Айзенберга Ю.Б. (Творческий отчет). № 6. С. 67–70.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Айзенберг Ю.Б., Будак В.П. Журнал «Светотехника / Light & Engineering» в 2018–2019 гг. № 1. С. 4–5.

Мирошникова И.Н., Снетков В.Ю. Высшее образование по специальности «Светотехника и источники света» и переход к ФГОС 3⁺⁺. № 2. С. 30–33.

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Дас Б., Сур А.К., Мазумдар С. Проектирование и разработка искусственного окна, работающего от солнечной энергии, с изменяющейся цветовой температурой на основе красного, синего и белого светодиодов. № 1. С. 44–49.

Ёнер М., Казанасмаз Т. Основанные на освещённости и яркости совместной работы световых полок и светоотражающих жалюзи в читальных залах библиотек. № 1. С. 54–59.

Беляев В.В., Нессемон К.Д., Беляев А.А. Использование дисплейных технологий для освещения. № 2. С. 61–66.

Уйгун И.Е., Казанасмаз Т., Кале С. Экспериментальная проверка достоверности различных моделей определения энергоэффективности ОУ в общественных зданиях. № 3. С. 64–71.

Бакир Кюцюккая И., Алакавук У. Оценка соответствия административного здания требованиям LEED. № 4. С. 52–58.

Белан Г.М., Овчаров А.Т. Модернизация осветительных систем литейно-прессового завода в Красноярске. № 6. С. 6–11.

Стерхов А.И., Палагин А.В., Лошкарев И.Ю. Исследование фотометрических систем освещения с полыми протяженными световодами. № 6. С. 31–36.

Гулиев А.Э. Усовершенствование освещения майолики на станции «Комсомольская – радиальная». № 6. С. 52–57.

Чевик А., Казанасмаз Т., Дюран Н.Е. Влияние освещения на выбор направления движения посетителей в музеях. № 6. С. 58–66.

ОСВЕЩЕНИЕ ГОРОДОВ

Мариллас Р.М., Де Андрес Х.Р. Обновление уличного освещения с помощью светодиодных технологий. № 3. С. 33–41.

Пэрдахджи Д., Ёзкан Х. Проектирование СД установок дорожного освещения, работающих на солнечной энергии. № 3. С. 42–49.

Сенгиз М.С. Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещенности в тоннеле. № 3. С. 51–58.

Галагану К.Д., Ашраф М., Лукаче Д.Д., Бю Д., Чигугдеану К. Коэффициент использования для архитектурного освещения. № 4. С. 30–37.

Биста Д., Шреста А., Циссис Ж., Бхусал П., Топалис Ф.В., Чхетри Б. Текущее состояние освещения в Непале. № 4. С. 84–92.

Щепетков Н.И., Капелева С.Б., Бугаев Д.В., Матовников Г.С., Костарева А.С. О концепции светоцветовой организации городской среды в центральной части Тюмени. № 5. С. 6–12.

ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЕ АППАРАТЫ, ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Сахана С., Рой Б. Разработка и анализ экономичного комплексного устройства управления освещением. № 4. С. 39–45.

Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В. О зависимости уровня гармоник тока тепличных облучателей от уровня питающего напряжения. № 5. С. 20–22.

Шехирли Э. Сравнение устройств управления светодиодами на основе преобразователей постоянного тока SEPIC, Чука и обратноходовых. № 6. С. 37–44.

РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС

Снетков В.Ю. Первое в 2019 году заседание Бюро НТС «Светотехника». № 2. С. 93–94.

Проект паспорта специальности: «05.09.07. Светотехника». № 2. С. 94.

СВЕТОВОЙ ДИЗАЙН

Чжао С., Чжан С., Цуй К. Воссоздание тибетского традиционного освещения в современной библиотеке. № 2. С. 84–90.

Ильевская М.М. Взаимосвязь архитектурных решений и принципов искусственного освещения в здании Московского концертного зала «Зарядье». № 2. С. 6–13.

Заева-Бурдонская Е.А., Назаров Ю.В. СВЕТлая сторуна дизайна. Вектор профессии. № 4. С. 14–21.

Колгушкина С.В., Быстрянцева Н.В., Прокопенко В.Т. Исследование яркостных характеристик объектов с архитектурным освещением центральных улиц города Тулы. № 4. С. 24–28.

Манав Б. Световая среда и воспринимаемая среда. № 5. С. 35–39.

Заева-Бурдонская Е.А., Назаров Ю.В. Сцена в свете софитов. Парадоксы профессии: художник, свет, театр. № 5. С. 76–83.

СВЕТОВЫЕ ПРИБОРЫ

Кокаман Б., Рустемли С. Сравнение светильников со светодиодами и натриевыми лампами высокого давления при освещении тоннелей. № 1. С. 62–68.

Ёзтюрк Е., Актас М., Сеньюз Т. Анализ и измерение воздействия солнечного излучения на фары автомобилей. № 5. С. 23–28.

Хун Ч.-М., Ли К.-Л., Лин Ч.-Е., Чен М.-В., Ву Д.-Д. Разработка модуля торцевой подсветки для автостереоскопического дисплея. № 5. С. 29–34.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пашковский Р.И. Жилые многоквартирные дома. Управление и питание общедомового освещения. № 1. С. 84–87.

Российские и международные светотехнические конференции (III квартал 2019 года). № 1. С. 95.

Перечень материалов Р.И. Пашковского в журнале «Светотехника» (2015–2019 гг.). № 2. С. 92.

Официальное заявление Международной комиссии по освещению по опасности синего света. № 3. С. 94–95.

Международные конференции и выставки в 2019 году (III квартал). № 3. С. 10.

Международная научно-практическая конференция «Искусство света: дизайн, архитектура, художественное и проектное творчество». № 3. С. 78.

Международные конференции и выставки в 2019 году (IV квартал). № 4. С. 21.

СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика». № 1. С. 90–94.

Будак В.П., Минаева С.Ю. Исследование по применению осветительных приборов со светодиодами в автосборочном цехе. № 3. С. 85–91.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СВЕТОТЕХНИКА И ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Кохановский А.А. Простой способ определения характеристик снега на основе результатов измерений коэффициента отражения. № 1. С. 21–29.

Анисимов В.Н. Световой десинхроноз и здоровье. № 1. С. 30–38.

Павлов С.А., Павлов А.С., Максимова Е.Ю., Алексеев А.В., Павлов А.В., Антипов Е.М. Анализ светового поля в флуоресцирующих оптических слоях с квантовыми точками на основе CdSe/CdS/ZnS. № 1. С. 73–76.

Мукур С.П., Канимкурбей Б., Коркмаз А. Введение магнитного поля в электролюминесценцию органических светоизлучающих приборов, легированных наночастицами CoFe_2O_4 . № 4. С. 71–78.

Прытков С.В., Сыромьясов А.О. Расчёт светораспределения условно точечного источника света в произвольно ориентированной системе координат. № 4. С. 79–83.

Будак В.П., Гримайло А.В. Влияние поляризации света на световое поле в сценах с многократным отражением. № 5. С. 84–89.

ФОТОМЕТРИЯ И КОЛОРИМЕТРИЯ

Ли М.Е., Федоров С.В. Двухлучевой спектрофотометр для одновременного измерения спектральных характеристик восходящего из моря и падающего в него излучения. № 1. С. 50–53.

Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Применение мощных светодиодов для одновременных измерений характеристик рассеяния излучения и флуоресценции в морской воде. № 2. С. 40–43.

Буренков В.И., Шеберстов С.В., Артемьев В.А., Та-скаев В.Р. Оценка погрешности измерения показателя ослабления света морской водой в мутных водах арктических морей. № 2. С. 55–60.

Винь К.Т., Бодрог П., Кхан Т.К., Ань Т.Т. Зависимость цветового предпочтения от коррелированной цветовой температуры, освещённости и насыщенности цвета объекта – новая метрика. № 5. С. 64–75.

ХРОНИКА

70 лет труда и света. К Юбилею Ардатовского светотехнического завода. № 1. С. 77–78.

Серый Е.С. Москва праздничная, освещённая... № 1. С. 43

Юбилей А.Ш. Черняка. № 1. С. 29.

Юбилей В.М. Петрова. № 1. С. 79.

Юбилей А.А. Григорьева. № 1. С. 88.

Юбилей В.М. Пятигорского. № 1. С. 72.

Памяти Бедокса Л. № 2. С. 66.

Елисееву Н.П. 75 лет. № 2. С. 77.

Памяти Пашковского Р.И. № 2. С. 91.

Серый Е.С. В Лихославле введён в эксплуатацию автоматизированный литейный комплекс. № 2. С. 95.

70 лет В.М. Пчелину. № 3. С. 92

Памяти Н.И. Василева. № 3. С. 91.

Ушёл из жизни Ю.Е. Новосёлов. № 3. С. 95.

Лесман Е.А. 85 лет Северную столицу освещает «Ленсвет». № 4. С. 93.

Серый Е.С., Федорищев П.А. Международная научно-практическая конференция по применению светодиодных фитооблучателей. № 5. С. 90–91.

Титаренко М.И. Заседание редколлегии журнала «Светотехника». № 5. С. 92–93.

Серый Е.С. Конференция «Искусство света». № 6. С. 89.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Ручкина Г.Ф., Павликов С.Г., Матвеева Е.Ю. Оптимизация освещённости объектов муниципальных образований и защита розничных потребителей электроэнергии: взаимообусловленность процессов. № 5. С. 54–58.

Цибук М., Сенгиз М.С. Сравнение энергопотребления имеющих разную топологию беспроводных сенсорных сетей осветительных установок. № 6. С. 23.

25 ЛЕТ ВЫСТАВКЕ INTERLIGHT

Interlight Russia | Intelligent Building: выставка с историей в новом формате. № 6. С. 71–73.

Варфоломеев Л.П. Юбилейная выставка «Интерсвет» № 6. С. 74–81.

Серый Е.С. Всё самое главное о светотехнике. № 6. С. 82–84.

Серый Е.С. LED Forum: теория и практика применения светодиодов. № 6. С. 85–86.

Встреча коллег. Чествование академика Ю.Б. Айзенберга. № 6. С. 88.



Экономия



Безопасность



Энергосбережение

Управление освещением – залог безопасности!



129626, г. Москва,
1-й Рижский переулок, дом 6



www.svs-tm.ru



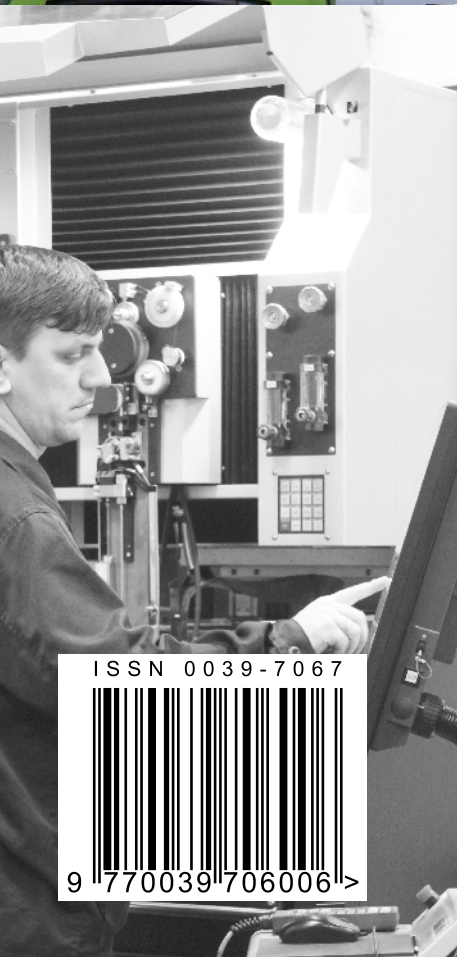
(495) 780-75-98

Лихославльский
завод «Светотехника»

Российское производство

с качеством мирового уровня

- ▶ Наука
- ▶ Технологии
- ▶ Опыт
- ▶ Признание
- ▶ Экспорт



Более **50** серий и
свыше **1000**
модификаций
продукции



ISSN 0039-7067



9 770039 706006 >

171210, Тверская область, г. Лихославль,
Первомайская улица, 51, тел: (48261) 3-59-04

www.galad.ru www.bl-g.ru