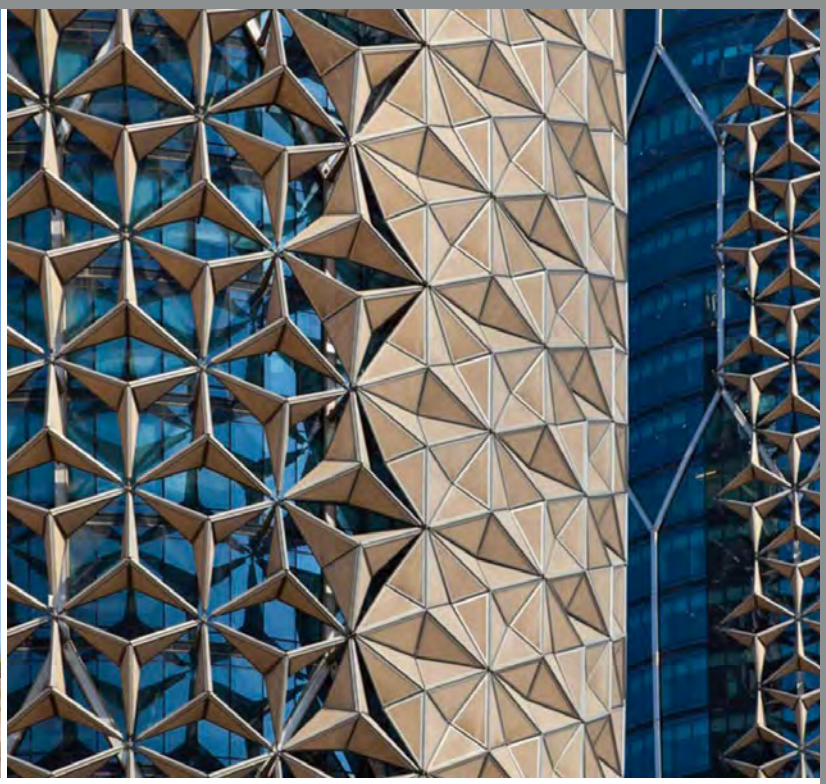
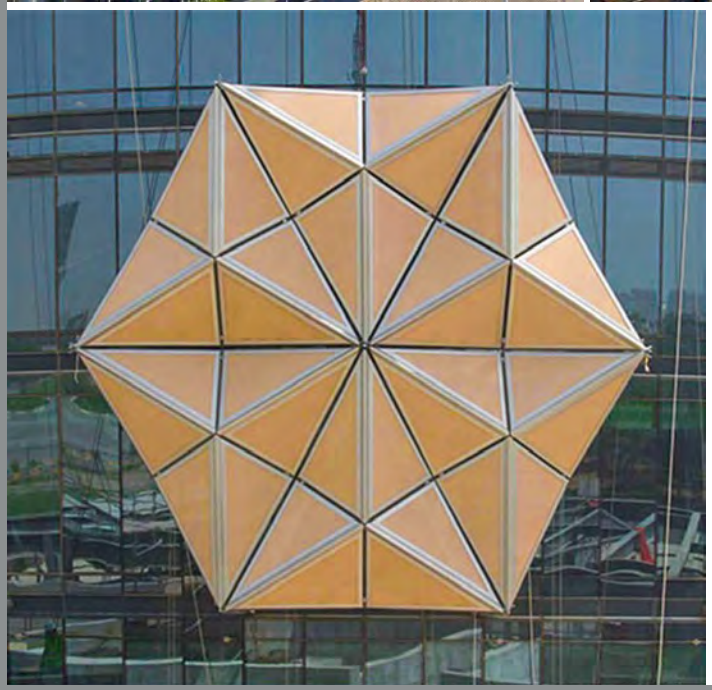
ISSN 0039-7067

СВЕТОТЕХНИКА

4·2018





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

ОСВЕЩЕНИЕ ГОЛОВНОГО ОФИСА «Л'ЭТУАЛЬ»

Производитель светильников:

Компания «Смарт Лампс» (ООО)
Ярославское ш., вл.3 | (495) 668-0670
info@smartlamps.ru | www.smartlamps.ru

«Л'Этуаль» - крупнейшая в России парфюмерно-косметическая сеть из более чем 900 магазинов. Для качественного управления такой организацией требуется современный офис, оборудованный по последнему слову техники, в котором работают квалифицированные сотрудники. Следовательно, необходима такая световая среда, которая обеспечит не только безошибочную и производительную работу персонала, но и окажет благотворное влияние на сотрудников. Именно поэтому было решено использовать линейные светодиодные светильники, объединенные системой управления освещением **«LiCS Indoor»** от компании **Vossloh-Schwabe**.

Система управления освещением **«LiCS Indoor»** осуществляет следующие функции:

- возможность индивидуального управления светильниками;
- возможность использования датчиков освещения;
- реализация различных сценариев (дневной, ночной, дежурный) и их автоматическое включение в зависимости от дня недели и времени суток;
- возможность беспроводного управления;
- централизованное управление освещением.

Освещение офиса реализовано с использованием линейных светодиодных светильников компании **«Смарт Лампс»**. В светильниках установлены блоки питания со стабилизацией тока и функцией регулирования светового потока по протоколу DALI. Светодиодные модули с оптикой серии **«LED Line SMD Kit»**, произведенные **Vossloh-Schwabe**, обеспечивают КСС косинусного типа.
Оптимальный подбор комплектующих светильников позволил получить высокую световую отдачу (до 150 лм/Вт), низкий UGR (объединенный показатель дискомфорта, менее 17), высокий индекс цветопередачи, стабильный световой поток без пульсаций.
Для освещения коридоров были использованы трековые светильники с изменяемым углом излучения компании **«Смарт Лампс»**. Источником света в данных светильниках являются высокоэффективные светодиодные модули COB монтажа серии **«LUGA Shop»**, а управляющими устройствами служат блоки питания производства **Vossloh-Schwabe**. Светодиодные COB модули смонтированы на керамической плате, что значительно снижает их деградацию и повышает срок службы при оптимальном теплоотводе.

В светильниках установлены комплектующие компании Vossloh-Schwabe.
Блоки питания:

- тип ECXd 700.149;
- тип ECXe 800.254.

Источники света:

- серия «LEDLineSMDKit» (СИД модуль + оптика);
- серия «LUGA Shop» (COB модуль типа DMS120).

БОЛЬШЕ ЧЕМ СВЕТ

Новые возможности в освещении

Преимущества самого широкого в мире ассортимента инновационных светодиодных компонентов для общего освещения.

SMD, COB и CAS, малой, средней, высокой и ультра высокой мощности, белые и цветные светодиоды, различных размеров и классов цветопередачи — выбирайте среди наших серий DURIS®, OSLON® и SOLERIQ® именно те компоненты, которые нужны.

Light is OSRAM

OSRAM
Opto Semiconductors

реклама

Уважаемые читатели!

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

Центральной темой этого номера является дискуссия по вопросам светодизайна. Эта тема в последнее время стала не только актуальной, но и модной в светотехнике.

Светодизайн, т.е. использование подсветки зданий и сооружений в эстетических целях, имеет давнюю историю. Свет всегда в качестве эстетического инструмента присутствовал в торжественных и праздничных иллюминациях. Электричество существенно переменило положение вещей, сначала ярко осветив улицы, а затем и здания на них. Однако до недавней поры подсветка каждого сооружения представляла сложную художественную задачу, с которой могли справиться редкие подлинные художники по светодизайну. При этом такой художник обязательно должен был работать в содружестве с проектировщиком осветительных установок (ОУ), поскольку инструментом светодизайна служили световые приборы, результат работы которых можно было предсказать только на основе достаточно трудоёмких фотометрических расчётов. Либо такой человек совмещал оба таланта, что делало его совершенно неординарным специалистом.

На рубеже XX – XXI веков в светотехническую практику проектирования ОУ прочно вошло моделирование осветительных установок на компьютере на основе алгоритмов компьютерной графики. Это привело к подлинной революции в светотехнике. Если на первом этапе использования компьютеров предпринимались попытки переложения на «железного друга» трудоёмких и утомительных операций, то сегодня компьютер заставляет изменить взгляды на саму решаемую проблему и предположить новые, куда более оптимальные решения её.

Программы компьютерной графики позволяют учесть все особенности распространения света, что даёт возможность рассчитать световое поле в любой точке освещаемой сцены и как следствие отобразить результат расчёта (визуализировать) в виде фотореалистической фотографии освещённого объекта. Это позволяет оценивать освещение не только в соответствии с нормами, но и эстетически, что для непроизводственных помещений является важнейшим требованием. При этом для создания сцены визуализации не обязательны художественные способности. На сегодня нет проблем, используя чертежи здания, подготовленные архитектором, расположить светильники с заданными кривыми распределения силы света, задать фотометрические характеристики всех оптически активных поверхностей, и в результате работы программы получить не только распределение освещённости (яркости) по рабочим поверхностям, но и настоящий фильм об освещении объекта. Это открыло возможность проектировщику ОУ мыслить не цифрами освещённости, яркости, а художественными образами. Приблизительно переход здесь эквивалентен переходу от музеев изобразительного искусства к полиграфии собраний произведений художников. Но и это не всё. Такой подход позволяет увидеть и оценить влияние отдельных элементов сцены освещения на качество освещения.

Здесь возникает вопрос инженерного образования, в рамках которого и формируется проектировщик ОУ. Возможность мыслить образами на базе компьютерной графики является обязательными, но не достаточными условиями превращения проектировщика в дизайнеров. Необходимо также эстетическое образование, формирование художественного вкуса у студентов-светотехников. Механически соединить дизайнерское и инженерное образование не представляется возможным в рамках шестилетней программы обучения. С другой стороны, возможность, что освещение каждого здания, каждого двора спальных районов и т.д. будет иметь оригинальное освещение, заставляет решать проблему подготовки светодизайнеров.

Мы принципиально на эту модную тему дали высказаться для открытия дискуссии молодым авторам, чьё формирование как проектировщиков проходило в новое время. Наверное, это определит некоторую противоречивость их суждений, связанную с тем, что их представления формировались одновременно с проникновением компьютерной графики в светотехнику, но представляется, что именно в дискуссии мы сможем понять истину. С этой целью мы направили их публикации в № 3 различным известным специалистам проектирования ОУ художественной подсветки зданий и улиц. Несомненно, на этом не хочется закончить дискуссии по этому актуальному вопросу современной светотехники. Мы её продолжим и в следующих номерах, к чему и призываем высказаться всех наших читателей. Отмахнуться от проблемы светодизайна в работе проектировщиков ОУ невозможно: главный инструмент проектирования сегодня – программы компьютерной графики, – стимулируют мыслить не только цифрами, но и образами.

СВЕТО ТЕХНИКА
LIGHT & ENGINEERING

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»

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

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

ИНОСТРАННЫЕ КОРРЕСПОНДЕНТЫ

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ

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

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

Сдано в набор 11.07.18. Подписано в печать 31.07.18
Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

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

СОДЕРЖАНИЕ 4·2018

В НОМЕРЕ

ИЮЛЬ • АВГУСТ

Бизнес и инновации 12, 19, 25, 36, 46, 77

Колонка главного редактора 3

Степанов В.Н. Некоторые вопросы проектирования освещения футбольных стадионов 6

Александров С.А. Разработка методики ускоренного проектирования освещения горнолыжных трасс 13

Мухерджи Ш., Сатвайя П., Мазумдар С. Разработка системы аварийного освещения на базе микроконтроллера со средствами дымообнаружения и мобильной связи 22

Дугар А.М., Агарвал Д. Предварительная оценка предпочтений жителей Индии в части коррелированной цветовой температуры при кратковременной хроматической адаптации 26

Беляев Р.И., Боровков С.А. Сличение результатов параметров измерений светильника с СД в испытательных лабораториях 33

Тарасенков М.В., Познахарев Е.С., Белов В.В. Статистические оценки передаточных характеристик, предельных дальностей и скоростей передачи информации по импульсным атмосферным бистатическим оптическим каналам связи 37

Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Шихов В.Н. Особенности выбора источников света для биолого-технических систем жизнеобеспечения космического назначения 43

Пожар В.Э., Мачихин А.С., Гапонов М.И., Широков С.В., Мазур М.М., Шерышев А.Е. Гиперспектрометр на основе перестраиваемых акустооптических фильтров для БПЛА 47

Голубин С.А., Никитин В.С., Белов Р.Б. Применение цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве многофункциональных элементов управления унифицированных человеко-машинных интерфейсов 51

Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: исследование и оптимизация оптического тракта 56

Сапрыкина Н.А. Инновационные концепции использования естественного света как существенного компонента формирования архитектурного пространства 62

Кундарачи А.Ч., Казанасмаз Т., Хордижк Т. О влиянии характеристик помещения на ручное управление освещением 70

ОБРАЩЕНИЯ В МИНИСТЕРСТВА И ВЕДОМСТВА

Письмо губернаторам 61

ХРОНИКА

Памяти Галины Ильиничны Галифулиной 79

ДИСКУССИЯ

Продолжение дискуссии по проблеме светового дизайна, начатой в № 3 80

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Международные конференции и выставки в 2018 году (IV квартал) 79

Правила оформления рукописей, подаваемые в журнал «Светотехника» 94

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Освещение офиса с применением комплектующих компании *Vossloh-Schwabe* 1

Новые возможности в освещении 2

Международная светотехническая корпорация «Боос Лайтинг Групп» – лидер светотехнической отрасли России 20

Международная выставка *Interlight Moscow powered by light+building* 2018 69

Международная конференция «*LED* Форум» 78

Система солнцезащиты в офисных башнях «*Al Bahr*» в Абу-Даби ..... **1 с. обл.**

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

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

Блоки питания «*ComfortLine Industry*» для производственного освещения ..... **4 с. обл.**

Некоторые вопросы проектирования освещения футбольных стадионов

В.Н. СТЕПАНОВ
E-mail: Stepanov.vns53@yandex.ru

«Один пример стоит тысячи объяснений»
Уильям Глэдстоун

Аннотация

В статье рассмотрены рекомендации ФИФА и УЕФА, описывающие технический уровень систем освещения современных футбольных стадионов. Кратко охарактеризованы основные подходы к светотехническому проектированию прожекторных установок, отличающиеся приоритетами, на основе которых принимаются решения (в частности, качество освещения или энергоэффективность осветительной установки).

Ключевые слова: спортивное прожекторное освещение, оптимизация, качество освещения.

1. Введение

Освещение игрового поля футбольного стадиона – непростая задача. Её сложность заключается, с одной стороны, в том, что надо создать наилучшие (чаще, приемлемые) условия для деятельности и зрительного восприятия нескольких очень разных групп людей: спортсменов, тренеров и судей, зрителей на трибунах, зрителей у телевизоров, журналистов и телекомментаторов, и, с другой стороны, в том, что приходится иметь дело с большим количеством прожекторов, которые нужно разместить и направить, и сделать это оптимальным образом.

В терминах теории проектирования всё это сводится к решению задачи оптимизации с комплексной (многокритериальной) целевой функцией и многочисленными ограничениями на факторы, которые влияют на те или иные критерии. Решать эту задачу в полном объёме математическими методами не пытался никто и никогда. Были лишь отдельные более-менее удачные попытки решения частных задач [1].

Например, А.И. Митин [2] в своё время предложил алгоритм оптимизации параметров ориентации прожекторов в 4-мачтовой системе освещения, а специалисты ведущих зарубежных светотехнических компаний нашли способ повышения эффективности спортивных прожекторных установок за счёт использования прожекторов с разными по ширине и интенсивности световыми пучками.

На протяжении нескольких десятилетий задача освещения футбольных полей решалась эмпирически, методом проб и ошибок. Это позволило выработать набор критериев, определяющих качество спортивного освещения, и найти диапазоны значений соответствующих параметров, иными словами, определить ограничения, накладываемые на параметры целевой функции оптимизации, и, тем самым, создать предпосылки для нахождения оптимального решения.

Достигнутый на данный момент технический уровень освещения футбольных стадионов описан в документах двух международных спортивных организаций: ФИФА и УЕФА. Деятельность ФИФА заключается в популяризации футбола на всей планете и в организации международных соревнований самого высокого уровня, таких как Кубки Мира по футболу на травяных и песчаных (пляжных) полях, в залах, среди мужских и женских команд, и для игроков разного возраста. УЕФА – региональная европейская ассоциация, которая организует соревнования разного уровня между сборными и клубными командами в границах Европы. И хотя в целом документы, политики и деятельности этих двух организаций согласованы и непротиворечивы, они всё же отличаются как в деталях, так и в приоритетах.

В части, касающейся искусственного освещения, в рекомендациях ФИФА приоритет отдаётся телевидению, т.е. созданию оптимальных условий для работы телевещателей [3]. Объясняется это тем, что главным продуктом, за счёт продажи которого существует эта организация, является телевизионная «картинка», и от качества этой «картинки» зависит её стоимость. А в рекомендациях УЕФА, по крайней мере, декларативно, на первое место ставятся интересы игроков на поле и зрителей на стадионе, и исходя из этого формулируются требования к искусственному освещению [4].

2. Обзор документа ФИФА [3]

2.1. Классификация стадионов и систем освещения

Следует отметить, что широко распространённая в нашей стране 4-мачтовая система прожекторного освещения признана устаревшей и далее неприемлемой для освещения стадионов, где предполагают проводить телевизионные трансляции матчей. ФИФА предлагает классификацию соревнований и соответствующих систем искусственного освещения, которая приведена в табл. 1.

2.2. Высота установки прожекторов на стадионах, предназначенных для проведения соревнований классов IV и V

Уровень комфорта находящихся на стадионе игроков, судей и зрителей во многом зависит от того, насколько ограничено слепящее действие осветительной установки. Определяющим фактором здесь является угловая высота положения прожекторов.

При установке прожекторов сбоку от игрового поля предложено, чтобы наблюдатель, находящийся на продольной оси поля (иными словами, в центре поля), мог видеть самые нижние прожекторы под углом не менее чем 25^0 по отношению к горизонту (рис. 1).

Вместе с тем, экономически нецелесообразно размещать прожекторы в угловой зоне, превышающей 45^0 (при тех же условиях наблюдения), так как это приводит к удорожанию конструкций стадиона.

Данная «норма» представляется спорной и даже ошибочной. Если стадион будет спроектирован с учётом этой рекомендации, то система освещения для телеви-

Таблица 1

Классификация соревнований и стадионов для их проведения

Класс V	Международные матчи с международными телевизионными трансляциями	Бестеневое освещение футбольного поля
Класс IV	Игры национальных чемпионатов с телевизионными трансляциями по национальному телевидению	Бестеневое освещение футбольного поля
Класс III	Игры национальных чемпионатов без телевизионных трансляций	Для освещения игрового поля необходимо использовать минимум 8 мачт
Класс II	Соревнования низших лиг и клубные матчи без телевизионных трансляций	Для освещения игрового поля необходимо использовать минимум 6 мачт (рекомендация)
Класс I	Тренировки и оздоровительные занятия без телевизионных трансляций	Для освещения игрового поля необходимо использовать минимум 4 мачты (рекомендация)

зионных трансляций будет неминуемо создавать чрезмерное слепящее действие для игроков на поле и зрителей на трибунах из-за того, что часть прожекторов будет направлена на противоположную по отношению к месту их установки половину поля, а их оптические оси будут отклонены от вертикали (направления надира) на углы, близкие к или превышающие 70^0.

В предыдущей версии рекомендаций ФИФА 2002 года [5] были иные (более правильные, на наш взгляд) рекомендации по размещению прожекторов по отношению к игровому полю (рис. 2), а то, что оптические оси прожекторов нельзя отклонять от вертикали на угол, превышающий 70°, является общепризнанной рекомендацией, которая основана на многолетнем опыте и содержится во всех известных нормативных документах, ФИФА и УЕФА в том числе (например, [2, 3]).

Выполнение этих требований стимулирует строительство специализированных футбольных стадионов, на которых трибуны максимально приближены к игровому полю, а не «универсальных» стадионов с легкоатлетическим треком.

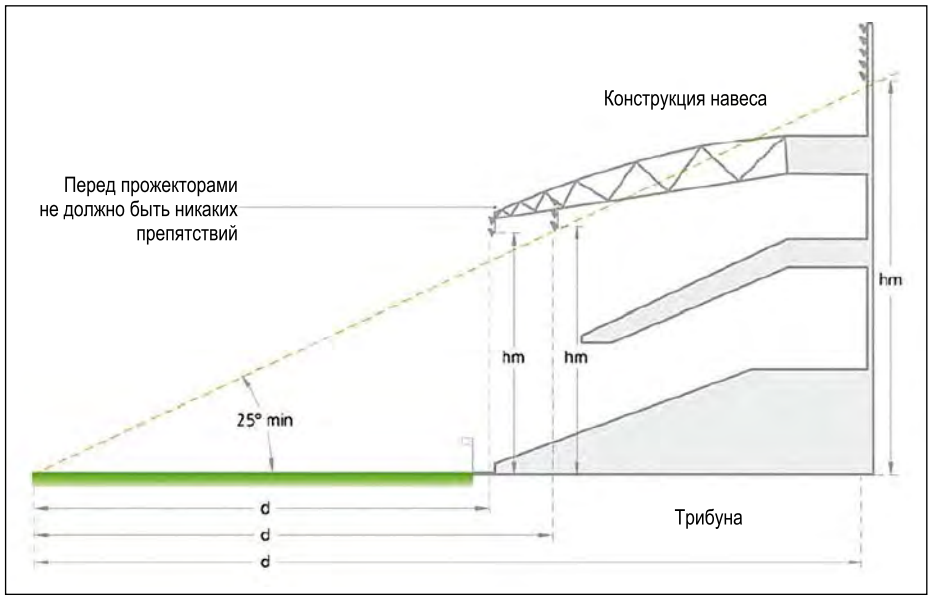


Рис. 1. Рекомендации по высоте размещения прожекторов [3]

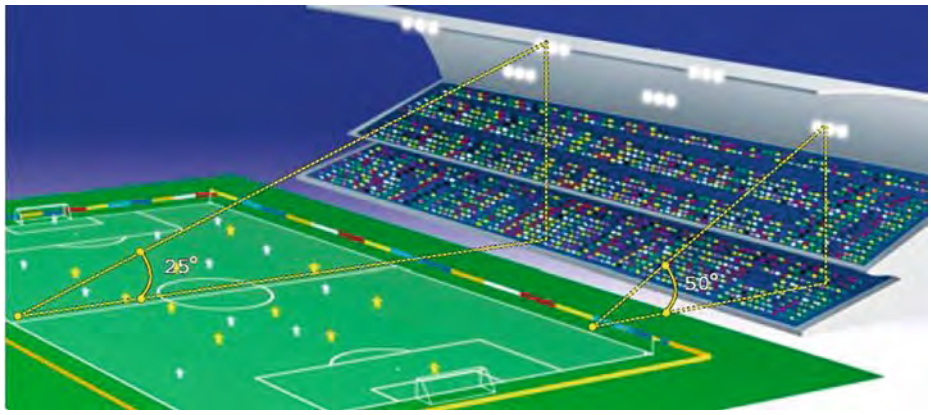


Рис. 2. Рекомендации по высоте размещения прожекторов [5]

2.3. Положения телевизионных камер, которые необходимо принимать во внимание при проектировании системы освещения

При современной телевизионной съёмке футбольного матча используют большое количество телекамер, расположенных в разных местах стадиона. Если положения телекамер содержатся в исходных данных для проектирования системы освещения, то необходимо выполнять расчёты вертикальной освещённости в поле зрения каждой телекамеры. Если же точные координаты телекамер неизвестны, то расчёты следует производить для типового размещения телекамер, показанного на рис. 3.

Система освещения игрового поля должна быть осесимметричной и обеспечивать условия для работы телекамер, установленных как за боковой линией поля, так и за линией ворот. Должны быть обеспечены такие условия освещения, чтобы при добавлении новых телекамер качество передаваемого ими изображения было бы безупречным.

Таблица 2

Предельные значения коэффициента вариации и градиента изменения освещённости

	Игры с телетрансляциями	Игры без телетрансляций
CV	≤ 0,13–0,15	≤ 0,3–0,4
UG	1,5–2	2–2,5

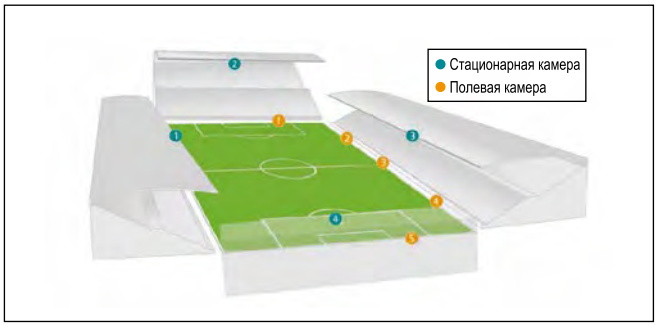


Рис. 3. Стандартное размещение телевизионных камер [3]

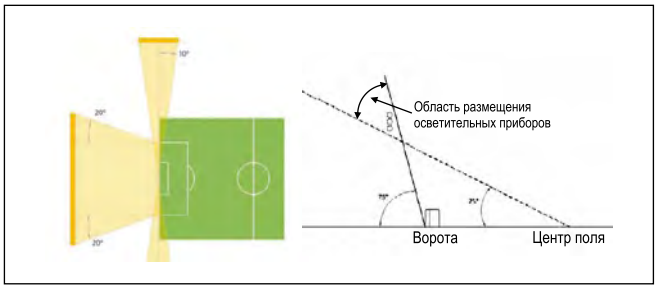


Рис. 4. Зоны, свободные от размещения прожекторов [3]

2.4. Ограничения на размещение прожекторов

Одной из мер, направленных на устранение помех для игроков на поле, является регламентация зон, где нельзя размещать прожекторы – это зоны выполнения угловых ударов и зоны за воротами (рис. 4). Данные ограничения действуют для всех классов соревнований.

Вместе с тем, для того, чтобы создать условия для работы телекамер, расположенных за воротами, допускается размещение осветительного оборудования в зоне, ограниченной направлениями, показанными на рис. 4 справа.

Здесь опять следует отметить, что нормативные документы часто «отстают» от жизни. В последнее десятилетие архитекторам пришлась по душе концепция «кольца огня», когда спортивные прожекторы составляют непрерывную структуру (кольцо, овал и т.п.), опоясывающую игровое поле. В этом случае прожекторы устанавливаются в формально запрещённых зонах, но напрвляются так, чтобы в минимальной степени мешать зрительному восприятию участников футбольного матча.

2.5. «Смягчение» теней (мультизональное нацеливание прожекторов)

Повсеместное внедрение цифрового телевидения высокой чёткости привело к необходимости устранения контрастных теней от игроков на поле. Решить эту задачу можно, если в каждую точку поля свет будет приходить от нескольких прожекторов из разных групп.

На рис. 5 показаны схемы «бестеневого» освещения полей для соревнований классов V и IV. Игровое поле условно поделено на три зоны, в каждую из которых свет попадает от прожекторов из четырёх (класс V) или трёх (класс IV) групп.

2.6. Характеристики освещения

В публикации ФИФА [3] предписано рассчитывать горизонтальную освещённость в узлах сетки с размерами ячейки 5 × 5 м на высоте 1 м от поверхности поля (раньше контрольные точки находились на уровне поверхности поля, $h = 0$), а измерять в узлах сетки 10 × 10 м.

В то же время, в документе, содержащем рекомендации и технические требования к стадионам Кубка Мира 2018 года [6], рассчитывать и измерять горизонтальную освещённость предложено на высоте 0.25 м от поля.

Помимо известных соотношений ($U_1 = E_{мин}/E_{макс}$, $U_2 = E_{мин}/E_{ср}$, где $E_{мин}$, $E_{макс}$ и $E_{ср}$ – минимальное, максимальное и среднее значения освещённости на рассматриваемой поверхности), характеризующих равномерность освещения, в [3] введены новые показатели оценки равномерности распределения горизонтальной освещённости: коэффициент вариации освещённости *CV* и градиент изменения освещённости *UG*. Коэффициент вариации освещённости *CV* равен отношению среднеквадратичного отклонения освещённости к её среднему значению:

$$GV = \frac{\sigma}{E_{cp}}; \quad \sigma = \frac{\sqrt{\left(E_i - E_{cp}\right)^2}}{n},$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, E_i – значение освещённости в контрольной точке i, $E_{ср}$ – среднее значение освещённости, n – общее количество контрольных точек.

Градиент изменения освещённости *UG* – параметр, который оценивает скорость изменения освещённости на дискретной сетке. Для его оценки рассчитывают относительную разницу между значениями освещённости в выбранной контрольной точке и в 8-ми соседних точках (справа, слева, сверху, снизу, по диагоналям), а затем выбирают максимальное значение. Требования к параметрам *CV* и *UG* приведены в табл. 2.

2.7. Сводные требования к освещению, обеспечивающему проведение телевизионных трансляций

В табл. 3 приведены рекомендуемые уровни вертикальной (для телекамер) и горизонтальной освещённости, равномерности распределения освещённостей, уровень слепящего действия и цветовые характеристики источников света для наиболее высоких классов соревнований

Таблица 3

Рекомендуемые характеристики освещения футбольных полей (для телевизионных трансляций)

Класс игры	По отношению	Вертикальная освещённость $E_в$ *			Горизонтальная освещённость $E_{гор}$			Цветовые характеристики лампы	
		Средняя, лк	Равномерность		Средняя, лк	Равномерность		Коррелированная цветовая температура $T_ц$. К	Общий индекс цветопередачи R_a
			U_1	U_2		U_1	U_2		
Международный (класс V)	К стационарной камере	>2000	0,6	0,7	3500	0,6	0,8	>4000	≥ 65
	К камере на уровне поля	1800	0,4	0,65	3500	0,6	0,8	>4000	≥ 65
Национальный (класс IV)	К стационарной камере	2000	0,5	0,65	2500	0,6	0,8	>4000	≥ 65
	К камере на уровне поля	1400	0,35	0,6	2500	0,6	0,8	>4000	≥ 65

Примечания:
1. Вертикальные освещённости– это освещённости в плоскостях, перпендикулярных линиям зрения соответствующих телекамер.
2. Приведены значения освещённости на момент конца периода без обслуживания осветительной установки (т.н. «поддерживаемые при эксплуатации» уровни освещённости).
3. При проектировании рекомендуется использовать коэффициент запаса, равный 1,4.
4. Для всех классов соревнований показатель ослепления $GR \leq 50$.

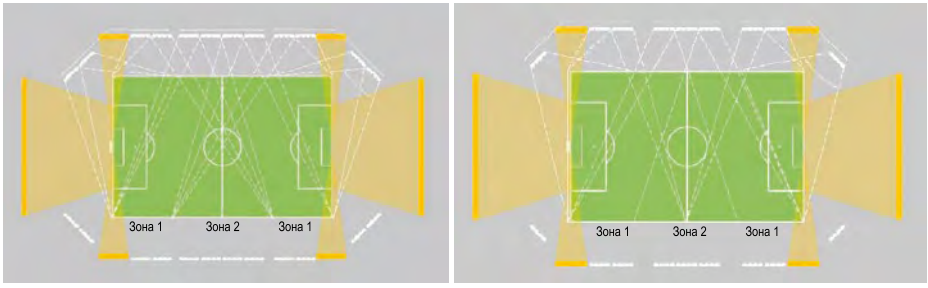


Рис. 5. Схемы освещения поля по классам V и IV [3]

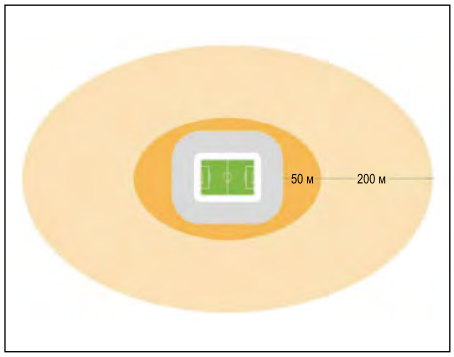


Рис. 6. Зоны, где следует оценивать «световое загрязнение» [3]

В более позднем документе ФИФА [6], содержащем технические требования к стадионам Кубка Мира 2018 года, произошли существенные изменения в требованиях к характеристикам спортивного освещения (табл. 4).

2.8. Предписания об ограничении влияния системы освещения стадиона на окружающую среду [3]

«Световое загрязнение», создаваемое осветительной установкой, подразделяется на две категории: рассеянное освещение территории и слепящее действие, оказываемое на пешеходов и водителей транспортных средств, находящихся за пределами стадиона. Необходимо предпринимать все возможные меры для ограничения «светового загрязнения» окружающей среды.

Регламентируются следующие предельные значения горизонтальной и вертикальной освещённостей за пределами стадиона (см. рис. 6):

- в 50-метрой зоне: $E_{гор} \leq 25$ лк, $E_в \leq 40$ лк;
- в 200-метровой зоне: $E_{гор} \leq 10$ лк, $E_в \leq 20$ лк.

3. Обзор документа УЕФА [4]

Достаточно объёмный документ [4] является понятным и удобным руководством для проектирования системы искусственного освещения футбольных полей. Результат проектирования во многом зависит от понимания следующих подзадач, расставленных в порядке приоритета:

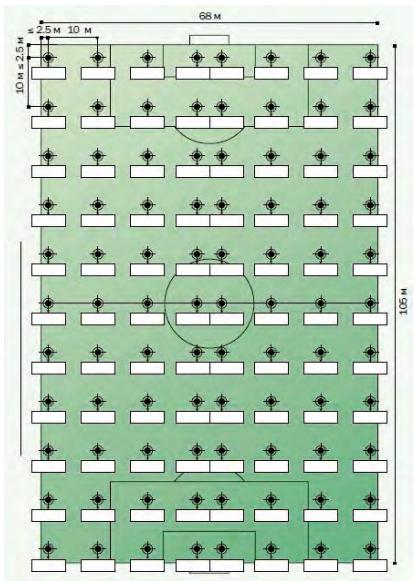
- создание оптимальных условий для деятельности игроков, судей, тренеров и других официальных лиц;
- обеспечение комфортных условий для зрителей на трибунах стадиона;
- обеспечение условий для работы телевидения;
- принятие во внимание уровня соревнований по классификации УЕФА;
- обеспечение освещения с возможно более мягкими тенями;
- построение надёжной и эффективной системы освещения с учётом местных климатические и иных особенностей;
- поиск долговременного, эффективного и экономичного решения;
- сведение до минимума влияния системы освещения на окружающую среду;
- согласованность системы освещения с архитектурой сооружения;
- отказ от использования 4-мачтовой системы освещения для стадионов класса А;
- учёт возможности использования системы освещения для создания

Таблица 4

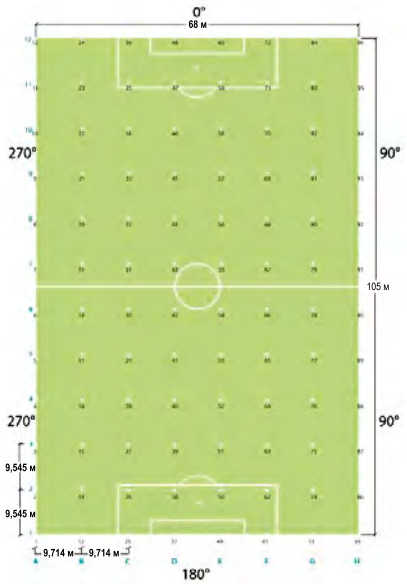
Характеристики освещения футбольных полей класса V

Класс игры	По отношению	Вертикальная освещённость $E_в$ *			Горизонтальная освещённость $E_{гор}$			Цветовые характеристики лампы	
		Средняя, лк	Равномерность		Средняя, лк	Равномерность		Коррелированная цветовая температура $T_ц$. К	Общий индекс цветопередачи $R_а$
			U_1	U_2		U_1	U_2		
Международный (класс V)	К стационарной камере	>2000	0,6	0,7	$E_{гор}$: $E_в$ ≤ 2:1	0,6	0,8	>4000 ≤ 6500	≥ 90
	К камере на уровне поля	>1800	0.6	0.7					
	По странам света	-	0.5	0.7					

Примечания:
1. Предельное значение градиента равно 15 %. Оценивать градиенты следует на сетке с шагом 5 м для всех видов освещённостей.
2. Коэффициент вариации CV = 0,13–0,15.
3. Средняя вертикальная освещённость первых 12 -ти рядов трибуны, попадающих в поле зрения главной телевизионной камеры, должна составлять от 25 до 33 % средней вертикальной освещённости игрового поля.
4. Соотношение между вертикальными освещённостями по сторонам света должно быть не менее чем 0,6 во всех контрольных точках.
5. Расчётные оценки показателя ослепления GR не должны быть больше чем 40 при коэффициенте отражения поля от 0,2 до 0,25.



а)



б)

Рис. 7. Сетки контрольных точек для выполнения световых измерений: *а* – сетка контрольных точек ФИФА [3]; *б* – сетка контрольных точек УЕФА [4]

Рис. 8. Новый стадион в г. Краснодаре

декоративных и развлекательных эффектов;

• учёт при проектировании системы освещения последних технических достижений и требований в области телевизионного вещания;

• учёт последних технических достижений в светотехнике.

Требуемые характеристики освещения зависят от класса стадиона, который, в свою очередь, определяется уровнем соревнований, которые могут проводиться на этом стадионе. При этом, различают пять классов соревнований: *D*, *C*, *B*, *A* и *Elite A*, а также соревнования, проводимые без телетрансляций.

В качестве примера приведём требования к освещению стадионов самого высокого класса *Elite A* (табл. 5).

На первый взгляд кажется, что требования УЕФА к освещению стадионов высокого уровня существенно ниже, чем требования ФИФА для стадионов категории IV. Но это не совсем так. Во-первых, расчёты и измерения освещённостей в документах этих организаций предписывается осуществлять с использованием разных сеток контрольных точек (рис. 7).

В случае ФИФА крайние точки отстоят от границ поля на расстоянии 2,5 м, а в случае УЕФА они находятся на границах поля. Количества контрольных точек также разные: например, для проведения измерений количества точек равны, соответственно, 88 и 96. Проектирование с сеткой контрольных точек УЕФА эквива-

Таблица 5

Характеристики спортивного освещения стадиона класса *Elite A* (по материалам [4])

Освещённость на горизонтальной площадке	Средняя, лк		U_1	U_2
	> 2000		> 0,5	> 0,7
Освещённость на вертикальных площадках, нормали которых ориентированы по направлениям 0, 90, 180 и 270°, например, на север, восток, юг и запад	Средняя, лк	Минимальная, лк	U_1	U_2
	> 1500	> 1000	> 0,4	> 0,5
Условие продолжения матча при сбое электропитания	Среднее значение горизонтальной освещённости > 1000 лк; Среднее значение вертикальной освещённости > 600 лк (по 4-м направлениям)			
Коэффициент пульсации,%	Среднее значение < 5 Максимальное значение < 5			
Отношение освещённостей в соседних точках	> 0,6			
Коррелированная цветовая температура, К	5000–6200			
Общий индекс цветопередачи	> 80			
Показатель ослепления *GR*	< 50			
Коэффициент обслуживания	0,85			
Класс электроснабжения	*Elite A*			

лентно тому, что, во-первых, необходимо создавать освещение с требуемыми характеристиками на большей (почти на 13,5 %) площади. А во-вторых, критичной становится величина минимальной вертикальной освещённости (не менее чем 1000 лк), а если принять во внимание требование к допустимой неравномерности (U_2 > 0,5), то получается, что среднее значение вертикальной освещённости должно быть не менее чем 2000 лк. А учитывая, что речь идёт о вертикальных освещённостях на плоскостях, ориентированных в направлениях четырёх сторон света, то получается, что требования УЕФА к количественным характеристикам освещения не менее высокие, чем требования ФИФА. Вместе с тем, требования к характеристикам, определяющим качество освещения, таким как показатели равномерности и ослепления (*GR*) и коэффициент пульсации, в рекомендациях УЕФА ниже, чем в предписаниях ФИФА.

Практический опыт показывает, что система освещения футбольного стадиона, рассчитанная и реализованная, исходя из требований ФИФА, всегда соответствует требованиям УЕФА. Но обратное утверждение верно не всегда!

4. Некоторые соображения о проектировании освещения

На основе собственного понимания того, что такое «качество» освещения, анализа собственного и чужого опыта, выводов, сделанных из своих и чужих, явных и неявных ошибок, у каждого, кто занимается проектированием спортивного освещения, формируется собственная шкала оценок и приоритетов, а также приёмы, позволяющие в короткие сроки осуществить выбор комплекта оборудования и найти «оптимальный», с точки зрения проектировщика, вариант размещения и нацеливания (ориентации) прожекторов. Все это относится к категории «секретов производства» (*know-how*) и не описывается в статьях. Но всё же позволю себе поделиться некоторыми общими соображениями, касающимися «кухни» этой деятельности.

Из всего изложенного выше становится ясно, что первое, что нужно обеспечить – это вертикальные освещённости $E_в$ с требуемыми уровнями и равномерностями. Уровень горизонтальной освещённости $E_{гор}$ больше не регламентируется, но придаётся большое значение равномерности и обращается внимание на соотношение средних уровней $E_{гор}$ и $E_в$. Известно, что отношение $E_{гор}$/ $E_в$ в точке поля определяется углом падения света на освещаемую поверхность. Чем больше угол падения, тем меньше это отношение. Известно также, что средний уровень $E_{гор}$ поля – это прямой индикатор, указывающий на количество задействованного оборудования.

Имея ввиду эти «аксиомы», можно следовать двум «полярным» планам построения системы освещения. Первый заключается в том, чтобы используя узкие высокоинтенсивные световые пучки, направлять их в удалённые от исходных прожекторов точки поля, для которых углы падения света будут предельно большими (но допустимыми), и, в итоге, получить нужные величины $E_в$ при соотношении $E_{гор}$ / $E_в$, близком к единице. Такая система освещения будет содержать минимальное количество прожекторов (т.е. будет максимально эффективной, если за меру эффективности принимать установленную мощность и приведённые затраты) и формально выполнять требования к освещению, но, на самом деле, будет ослепляющей и подверженной «разбалансировке» при выходе из строя даже нескольких осветительных приборов.

Второй план ставит во главу угла создание максимально комфортной

(неслепящей) и надёжной системы освещения. Как это часто бывает в истории, он сформировался как «побочный продукт» решения совсем другой, частной, задачи, возникшей чуть более 10 лет назад. Тогда в обиходе телевещателей массово стали применяться телекамеры ускоренной (и сверхскоростной) съёмки, потому что воспроизведение записанного ими изображения получалось в «замедленном темпе». Этот эффект делал телерепортажи более интересными и зрелищными. Но световой поток газоразрядных ламп высокого давления, которые работали в то время исключительно с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами и повсеместно использовались для спортивного освещения, пульсировал с частотой 100 Гц, и это, в свою очередь, приводило к пульсации яркости телевизионного изображения. Была поставлена задача снизить коэффициент пульсации, сначала до 5 % (как в документе УЕФА [4]), а затем и до 1 % (как в неофициальных документах МОК и УЕФА). Способ снижения коэффициента пульсации до 5–10 % хорошо известен и давно используется в системах промышленного освещения: близлежащие (соседние) осветительные приборы подключают к разным фазам питающей (3-фазной) электрической сети. Применительно к спортивному освещению, задача была сформулирована следующим образом: в каждую точку поля свет должен приходить как минимум от трёх прожекторов, подключённых к разным фазам сети (*A*, *B*, *C*). Эта задача получила очень простое и красивое решение. Оно свелось к расчёту системы освещения, которая обеспечивала нужные уровни освещённости только на треть (конечно, не точно, а приблизительно), но при заданных высоких параметрах равномерности. Затем этот «полуфабрикат» мультиплицировался (трижды). Задача легко решалась при использовании прожекторов с достаточно широкими световыми пучками, позволявшими обеспечить нужные показатели равномерности при низких уровнях освещённости. Получаемые системы освещения оказались очень комфортными (не слепящими и не пульсирующими) и очень надёжными, в том смысле, что выход из строя нескольких прожекторов не приводил к заметным для глаза или телекамеры изменениям в качестве освещения.

Имеющаяся статистика результатов проектирования и реализации осветительных установок футбольных стадионов, характеристики которых соответствуют требованиям ФИФА, показывает, что количество используемых прожекторов (с МГЛ мощностью 2 кВт) находится в диапазоне от 260 до 350 штук. Здесь необходимо отметить, что все стадионы – очень разные. Они отличаются размерами (вместимостью), конструктивными решениями, в том числе, конфигурацией и положением относительно поля конструкций, которые служат для размещения осветительного оборудования. Все эти и другие факторы влияют на конечное число прожекторов.

В данной статье не нашлось места обсуждению эстетической стороны проектируемых осветительных установок. К сожалению, в нашей стране на это мало обращают внимания, часто даже пренебрегая тем, как выглядят системы освещения. И такое отношение в корне неверно.

Системы освещения являются неотъемлемыми частями уникальных архитектурных сооружений, которыми являются современные стадионы (рис. 8). И они должны соответствовать им не только функционально, но и эстетически. Но эта тема заслуживает отдельного рассмотрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Степанов В.Н.* Проектирование и качество спортивного освещения // Светотехника. – 2018. – №2. – С. 11-14.
2. *Митин А.И., Царьков В.М.* Оптимизация 4-мачтовой системы освещения открытых спортивных сооружений // Светотехника.– 1979.– № 2. – С. 10–11
3. Football stadiums. Technical recommendations and requirements. Chapter 9. Lighting and power supply. FIFA, 5th edition, 2011.
4. UEFA. Stadium lighting guide, 2016.
5. Guide to the artificial lighting of football pitches. FIFA-Philips. 2002.
6. FIFA Stadium Requirements Handbook, 2016. 50.40. Floodlight system, pp. 433–444.

Степанов Виталий Николаевич,
кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. МЭИ. В 1992–1993 гг. работал в должности зам. главного редактора журнала «Светотехника»

Число фонарей в московских дворах за 8 лет выросло на треть

Количество фонарей в столичных дворах увеличилось на треть по сравнению с 2010 годом. Об этом в эфире Радио «Комсомольская правда» заявил зам. мэра Москвы Пётр Бирюков.

«Число фонарей во дворах за последние восемь лет выросло на треть. Это было сделано по инициативе жителей города», – сказал Бирюков. При этом столица стала меньше потреблять электроэнергии – всё дело в том, что коммунальщики перешли на энергоэффективные технологии. Благодаря этому город расходует меньше на освещение, добавил чиновник.

«Экономия идёт не только за счёт этой статьи – в 2009 году, к примеру, Москва потребляла 29,5 миллиарда кубометров газа, а сейчас – уже на 6 миллиардов меньше», – подчеркнул он.

mossvet.ru
06.07.2018

Последствия торговых ограничений для производства изделий со светодиодами

6 июля этого года в США вступают в действие 25-% пошлины на 818 китайских товаров, общая стоимость которых составляет примерно $34 млрд.

Решение Д. Трампа о введении пошлин направлено на снижение зависимости компаний США от китайских полуфабрикатов и увеличение конкурентоспособности изделий, производящихся в самих США. Однако в случае компании *Cree*, американского гиганта в области СД, 25-% пошлины повлияют на стоимость компонентов и изделий, которые производятся на расположенных в Китае предприятиях этой компании. Это повысит себестоимости выпускаемой *Cree* конечной СД-продукции, причём компания должна конкурировать с изделиями, выпускаемыми не в Китае, а в других странах.

Соответственно, и для остальных американских производителей конечной СД-продукции конкуренция внутри страны ещё больше ожесточится, т.к. пошлины, главным образом, вводятся на полуфабрикаты СД-изделий, что повысит стоимость этих изделий. В то же время экспортируемые Китаем конечные СД-изделия, такие как ОП и дисплеи, останутся конкурентоспособными на рынке США, т.к. они не входят в перечень облагаемой пошлиной продукции.

Торговые ограничения затрагивают и европейские компании, такие как *Osram*, которые недавно скорректировали свои экономические прогнозы на этот год, т.к. Трамп угрожал ввести пошлины и на продукцию Евросоюза. В результате, компании, расположенные не в Китае или Европе и имеющие производственные мощности и в других странах, могут получить даже выгоду от этого торгового противостояния.

ledinside.ru
06.07.2018

Разработка методики ускоренного проектирования освещения горнолыжных трасс

С.А. АЛЕКСАНДРОВ
ООО «Спектор Лаб», Москва
E-mail: alexandrov@spector-lab.com

Аннотация

Статья посвящена созданию методики ускоренного проектирования освещения горнолыжных трасс для проведения соревнований с телевизионной трансляцией.

Ключевые слова: спортивное освещение, горнолыжная трасса, телевизионная трансляция, методика проектирования, отражённая блёскость.

Введение

В настоящее время как в России, так и за рубежом активно развиваются зимние виды спорта, появляются новые современные трассы, проводятся соревнования международного уровня с телевизионной трансляцией. Таким образом, появляется спрос на качественное спортивное освещение горнолыжных склонов, которое удовлетворяло бы стандартам освещения для телевидения высокой чёткости (*HDTV*).

Если рассматривать горнолыжные склоны с точки зрения проектирования освещения, то, прежде всего, они отличаются от многих других спортивных объектов своей сложной объёмной структурой, в которой расчётная поверхность не только находится под углом к горизонту, но и зачастую представляет собой сложную фигуру с множеством граней.

Существенное значение имеют отражающие свойства освещаемой поверхности – снежного покрова, имеющего высокие коэффициенты отражения (от 60 до 95 % для разных состояний снега) [1, 2]. Учёт отражённой составляющей вертикальной освещённости позволяет значительно сокращать количество ОП. Кроме того, снег обладает выраженным эффектом зеркального отражения, что может оказывать слепящее действие на спортсменов.

Проведённый автором анализ современных светотехнических компьютерных программ показал, что ни одна из них не имеет полного функционала для расчёта освещения горнолыжных трасс. С оговорками для этого применима только программа «*DIALux*», т.к. она позволяет рассчитывать как прямую, так и отражённую компоненты освещения наклонных расчётных плоскостей. Однако существует несколько серьёзных ограничений использования этой программы. Во-первых, в ней невозможно построить сплошную трассу сложной формы, и расчёт приходится проводить на наборе плоских фрагментов, что значительно снижает точность и усложняет оценку результатов, т.к. для каждого фрагмента они выводятся на отдельный лист. Во-вторых, «*DIALux*» не позволяет рассчитывать для наклонных поверхностей показатель ослеплённости – один из важнейших показателей качества в спортивном освещении. Никак не учитывается и отражённая блёскость. Наконец, расчёт сложных сцен с большим количеством ОП слишком долог (для крупных трасс это десятки минут), не позволяет проектировщику оперативно отслеживать результат внесённых им изменений. В то же время, специфика расчёта спортивного прожекторного освещения такова, что для достижения хорошей равномерности освещения в нескольких направлениях необходимо производить многократные итерации по изменению углов нацеливания и типов светораспределения каждого из нескольких сотен прожекторов, поэтому процесс проектирования освещения одной трассы может занимать несколько недель.

Помимо указанных недостатков программного обеспечения наблюдается явная нехватка методического материала по проектированию освещения таких сложных объектов. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе присутствуют только общие рекомендации по спортивному освещению, в которых горнолыжным трассам уделяется всего несколько строк, и то, как правило, не учитываются особенности освещения для телевизионных трансляций.

Целью данной работы была разработка методики проектирования ОУ для соревнований с ТВ-трансляцией, создающих высокое качество освещения горнолыжных склонов с минимальными затратами времени на проектирование. Для достижения цели следовало разработать программу, позволяющую учитывать особенности освещаемых объектов, расширяющую возможности проектировщика и служащую основой для создания указанной методики.

Методика проектирования

Приступая к проектированию ОУ, в первую очередь необходимо определиться с требованиями к освещению. В нашей стране применительно к данным объектам действуют ведомственные нормы [3] (нормирование освещения для съёмок проводилось дополнительно перед Олимпиадой 1980 года [4]), а в европейских странах – стандарт [5], известны и соответствующие рекомендации МКО [6]. При этом задание на освещение конкретного объекта обычно формирует заказчик совместно с представителями спортивной федерации и организацией-исполнителем съёмок и трансляции соревнований.

Следующий шаг – определение возможных мест установки световых приборов. Для освещения горнолыжных трасс применяется классическая «верхне-боковая» схема освещения, характерная для многих других спортивных сооружений. Батареи прожекторов устанавливаются на опорах, расположенных по обеим сторонам трассы. Что касается высоты и шага опор, то данный параметр целиком и полностью определяется геометрией трассы, а именно её шириной и углом наклона. Учитывая высокую стоимость как самих опор, так и их монтажа в условиях горной местности, при проектировании закладываются минимально возможные высота и количество опор. Этот минимум ограничивается требованиями по исключению повышенного слепящего действия и необходимостью создания равномерного освещения поверхности снега. Исходя из ширины трассы, максимальный угол

подъёма прожектора, нацеленного на её противоположную сторону, при котором слепящее действие будет в допустимых пределах, определяет высоту опоры. Как правило, этот угол должен составлять не более 70° от вертикали. Сама опора при этом должна отступать от трассы так, чтобы угол между вертикалью и направлением от батареи прожекторов к ближней границе трассы составлял не менее 30°, в противном случае не удаётся создать необходимую вертикальную освещённость в ближней к опоре зоне. Таким образом, мы имеем достаточно узкий диапазон геометрических параметров, в который должна попадать установленная на опоре батарея прожекторов.

Далее аналогичным способом определяется шаг опор – за основу берётся максимальный угол, под которым прожектор можно нацелить вверх или вниз относительно плоскости трассы, т.е., как правило, те же 70°. Поскольку сама плоскость трассы, линии нацеливания камер и линии зрения наблюдателей наклонены к горизонту, углы нацеливания откладываются не от вертикали, а от перпендикуляра к поверхности трассы в месте установки светового прибора. Шаг опор должен быть таким, чтобы световое пятно от опоры совмещалось со световыми пятнами от соседних опор, без образования тёмных провалов. Понятно, что при увеличении угла наклона трассы шаг опор в горизонтальной проекции будет уменьшаться, но в проекции на поверхность трассы при любом угле наклона шаг останется неизменным. Исходя из практики, для создания равномерного освещения шаг опор в проекции на плоскость трассы не должен превышать 1,6 длины перпендикуляра, опущенного от батареи прожекторов на плоскость трассы. Это соотношение подлежит уточнению для каждой конкретной трассы при проведении светотехнических расчётов.

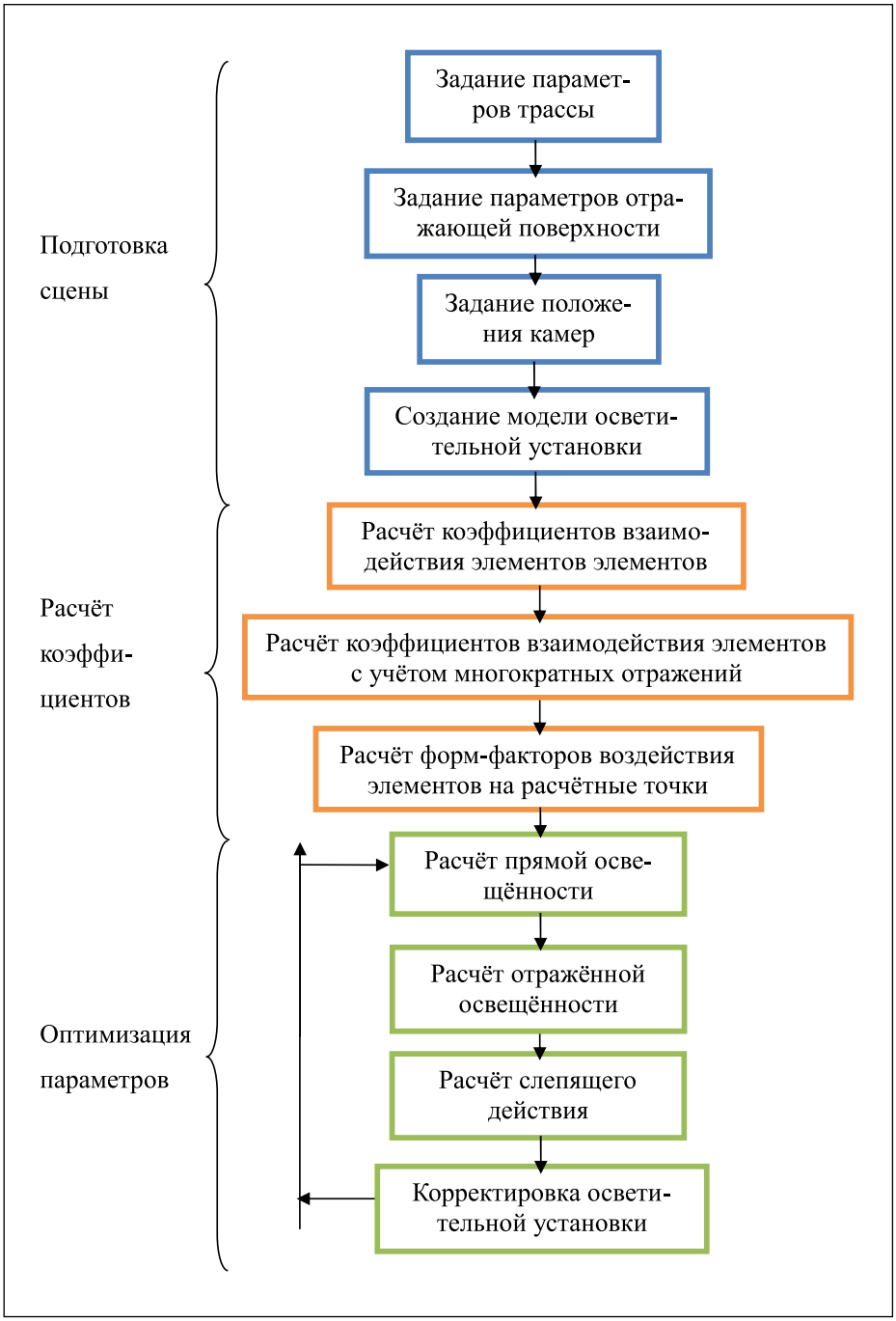


Рис. 1. Алгоритм светотехнического проектирования горнолыжной трассы

После определения геометрических параметров осветительной установки дальнейшее проектирование осуществляется в светотехнической расчётной программе. Основные этапы проектирования следующие:

- Задание расчётных плоскостей и отражающей поверхности.
- Размещение телевизионных камер.
- Выбор и размещение ОП.
- Первичное нацеливание, корректировка количества.
- Оптимизация параметров ОУ.

Оптимизацией называется процесс подбора углов нацеливания и светораспределения прожекторов для достижения требуемых параметров, и этот пункт занимает основную часть времени проектирования.

Автором предлагается соответствующий алгоритм проектирования, представленный на рис. 1.

Дальнейшее рассмотрение данного алгоритма будет производиться на примере его реализации в созданной автором экспериментальной расчётной программе. Она имеет следующие возможности: отображение сцены в графическом окне с навигацией, загрузка в проект КСС ОП в форматах *ies* и *ldt*, табличное представление используемых в сцене ОП и их характеристик, задание координат телекамер в соответствующей таблице, расчёт освещённости как в плоскости трассы, так и на заданной высоте по направлению к камерам, расчёт слепящего действия на наклонных поверхностях, отображение рассчитанных значений освещённости в графическом окне рядом с расчётными точками.

Построение трассы и склона

Поскольку горнолыжная трасса в плане чаще всего представляет собой сложную ломаную фигуру, для её построения применяется графический метод с использованием плана сооружения. Данный план, который выдают разработчики спортивной технологии, служит заданием для проектирования инженерных систем. На нём изображена трасса с проходящими по ней изогипсами (линиями равных высот). Используя данный план как подложку, пользователь отмечает на экране опорные точки с известными высотами на границах трассы. После завершения этого процесса программа автоматически распределяет по поверхности трассы расчётные точки для освещённости и показателя ослеплённости с заданным шагом (рис. 2). Аналогичным образом задаётся отражающая поверхность, которая может быть больше трассы, после чего она автоматически разбивается на элементарные треугольные плоскости заданного максимального размера (рис. 3).

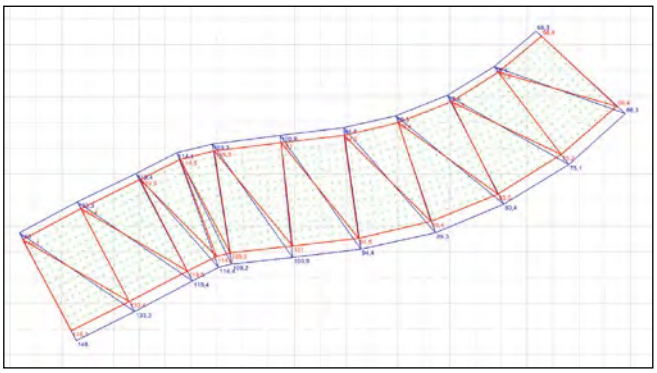


Рис. 2. Трасса с расчётными точками и поверхность склона

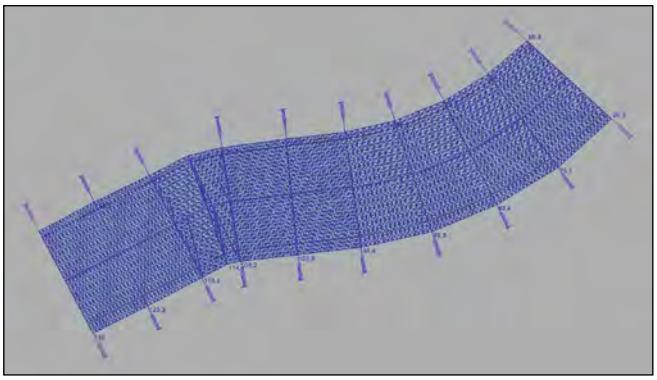


Рис. 3. Разбитый на элементы склон на фоне подложки

Расчёт показателя ослеплённости

Для установок наружного спортивного освещения и освещения открытых площадок слепящее действие определяется согласно публикации МКО 112–1994 [7]. Данный метод разработан на обширной экспериментальной базе и доказал свою применимость в различных осветительных установках.

Исследования показали, что следующие два параметра наилучшим образом соотносятся с оценкой слепимости для наружных установок:

L_{vl} – вуалирующая яркость, создаваемая ОП,

L_{ve} – вуалирующая яркость, создаваемая окружением.

Слепящее действие может быть различным для различных точек расположения наблюдателя и для различных направлений его взгляда. Следующая формула определяет эквивалентную вуалирующую яркость L_v (в кд/м^2):

$$L_v = 10\sum_{i=1}^{n}(E_{eyei} / \Theta_i^2), \qquad (1)$$

где E_{eyei} – освещённость глаза наблюдателя в плоскости, перпендикулярной линии зрения, создаваемая i-м источником света, лк;

Θ_i – угол между линией зрения наблюдателя и направлением от глаза к i-му источнику света, градусы ($1{,}5^o<\Theta_i< 60^o$);

n – общее количество источников света.

Для расчёта L_{ve}, освещённая территория представляется в виде бесконечного количества малых источников света. Условие $\Theta > 1{,}5^o$ для L_{vl} будет автоматически выполняться при направлении взгляда наблюдателя не выше – 2° от горизонта. Для L_{ve} это ограничение означает, что часть освещённой территории, попадающая в центр поля зрения в пределах угла 2×1,5°, не будет браться в расчёт.

Величина *GR* (*Glare Rating*), характеризующая слепящее действие, рассчитывается по формуле:

$$GR = 27 + 24 \cdot \lg(L_{vl} / L_{ve}^{0,9}).$$

Чем ниже значение *GR*, тем меньше слепимость и лучше условия наблюдения.

Расчёт слепящего действия производится в точках, равномерно распределённых по всей трассе, шаг этих точек может быть меньше, чем шаг точек для расчёта освещённости. Исходя из формулы (1), важным параметром является направление линии зрения наблюдателя. При этом, как в отечественных, так и в зарубежных нормах нет указаний – какое именно направление нужно выбирать для спортсмена или зрителя на горнолыжном склоне. Понятно, что при взгляде прямо на прожекторную батарею, показатель ослеплённости будет неприемлемо большим даже в правильно спроектированной осветительной установке, поэтому для получения практически полезных данных направление взгляда наблюдателя необходимо ограничивать. При расчётах плоскостных спортивных сооружений линия зрения наблюдателя по высоте ограничивается углом 2° вниз от горизонта, считая положение глаза – на высоте 1,5 м от уровня спортивной площадки. По азимуту рассматриваются все направления с шагом 15°.

Возвращаясь к горнолыжным склонам, можно с уверенностью сказать, что как для спортсмена, так и для зрителя, линия зрения в большинстве случаев будет направлена вдоль трассы, т.к. спортсмен будет смотреть на трассу, а зритель на спортсмена. В 2013 году, во время проведения чемпионата мира по фристайлу среди юниоров в г. Сочи, автор данной работы производил опрос соревнующихся спортсменов на тему слепящего действия во время выполнения прыжка с трамплина в дисциплине «лыжная акробатика». Опрос показал, что при подкате к трамплину спортсмен

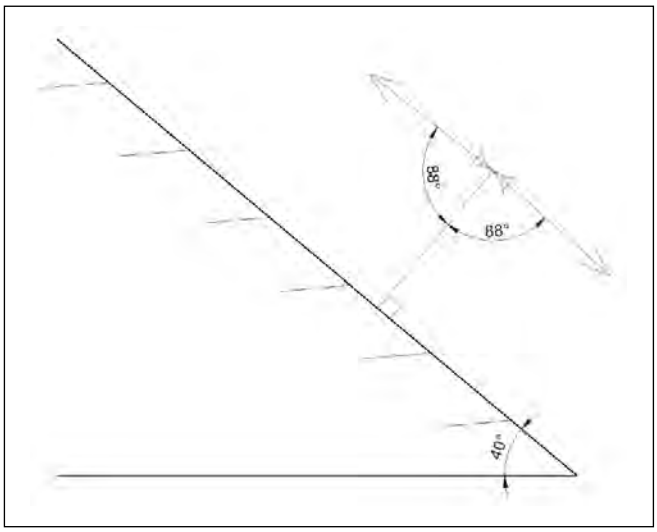


Рис. 4. Направления линии зрения наблюдателя на наклонном участке трассы

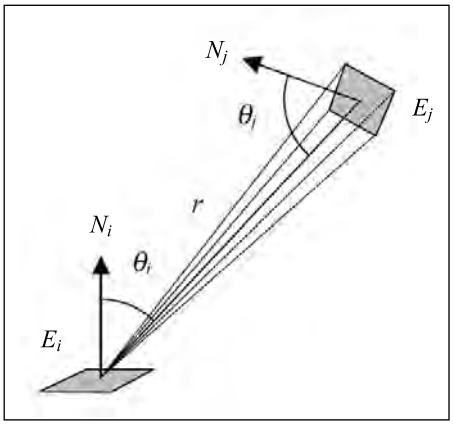


Рис. 5. Геометрия взаимодействия двух элементов

смотрит практически себе под ноги, а во время прыжка прожекторное освещение, выполненное по верхне-боковой схеме, не мешает ему концентрироваться и контролировать свои действия.

Таким образом, для практического применения можно взять угол 2° ниже плоскости трассы, при этом вращение линии зрения по азимуту будет производиться не в горизонтальной плоскости, а в плоскости данного участка трассы, которая может быть наклонена к горизонту (рис. 4).

Алгоритм экспресс-расчёта

Первая отличительная особенность метода экспресс-расчёта – сохранение постоянных, однократно рассчитанных, параметров в памяти и пересчёт влияния на распределение освещённости только текущих изменений в положении и нацеливании конкретного прибора.

Расчёт прямой освещённости трассы (её поверхности и вертикальной по направлению к камере) и снега производится по закону квадратов расстояний при изменении параметров одного из прожекторов (нацеливание, расположение, тип, количество). В основу метода положен тот факт, что каждый из прожекторов в сцене вносит свой вклад в освещённость каждой расчётной точки. Для каждого прожектора в сцене этот вклад считается и хранится отдельно. При внесении изменений в какой-либо прожектор сначала из освещённости каждой расчётной точки или элемента снега вычитается рассчитанный ранее вклад этого прожектора, затем вычисляется и прибавляется новый.

Вторая идея экономии времени заключается в том, что расчёты коэффициентов (форм-факторов) однократного и многократного взаимодействия элементов, а также коэффициентов, связывающих освещённость расчётных точек с освещённостью элементов снега, вынесены из расчёта отражённого света и производятся только один раз после создания геометрии сцены. В связи с этим процесс экспресс-расчёта можно разделить на две основные стадии: начальную стадию, на которой однократно рассчитываются и сохраняются в памяти все коэффициенты и стадию оптимизации, при которой создаются, удаляются или изменяются отдельные ОП. При этом принимается, что геометрия трассы постоянна, задаётся один раз и её изменение влечёт за собой повторное проведение начальной стадии с пересчётом всех коэффициентов.

Коэффициент взаимодействия элемента i с элементом j (рис. 5) рассчитывается по закону квадратов расстояний:

$$k_{i-j} = \frac{E_j}{E_i} = \frac{\rho \cdot S_i \cos\theta_i \cdot \cos\theta_j}{\pi \cdot r^2},$$

где E_i – освещённость элемента i, полученная им от прожекторов;

E_j – освещённость элемента j, полученная им в результате отражения света от элемента i;

ρ – коэффициент отражения элемента i;

S_i – площадь элемента i;

θ_i – угол излучения света в направлении элемента j относительно нормали к поверхности элемента i;

θ_j – угол падения света на элемент j относительно нормали к его поверхности;

r – расстояние между центрами элементов.

Аналогичным образом рассчитываются и сохраняются в памяти коэффициенты, связывающие освещённость данного элемента отражающей поверхности и данной расчётной точки трассы. Далее в процессе оптимизации рассчитанные значения освещённости снега будут просто перемножаться на сохранённые коэффициенты. Расчёт коэффициентов производится по приведённой выше формуле, где вместо элемента j выступает расчётная точка на плоскости.

Для расчёта коэффициентов взаимодействия элементов с учётом многократных отражений в цикле моделируется проход луча от одного элемента к другому через все возможные варианты (для двух переотражений проход через один промежуточный элемент, для трёх через два промежуточных элемента и т.д.). В итоге формула для учёта вклада в освещённость n-й итерации выглядит как

$$E_j = E_i \cdot \sum_{p1,p2,\ldots pn} (k_{i-p1} \cdot k_{p1-p2} \cdot \ldots \cdot k_{pn-j}),$$

где в качестве промежуточных элементов $p1$, $p2$, … pn последовательно перебираются все элементы сцены.

Для получения итоговой отражённой составляющей освещённости элемента j необходимо сложить вклады от всех учтённых в расчёте итераций.

Известно, что при увеличении отношения размера элемента к расстоянию до него закон квадратов расстояний даёт значительную погрешность. Математическое моделирование на базе созданной расчётной программы

показало, что для двух смежных треугольников погрешность расчёта освещённости центра масс одного треугольника отражённым от другого треугольника светом составляет 60 %, независимо от угла между ними. Несмотря на значительную погрешность, необходимо учитывать, что на освещённость элемента снега оказывает влияние не только смежный с ним элемент, но и множество более удалённых элементов, а основную часть освещённости создаёт прямой свет от прожекторов. Кроме того, освещённость снега является лишь промежуточным звеном в цепи расчётов. Чтобы выявить реальное влияние данной погрешности, было принято решение рассмотреть в качестве альтернативы расчёт коэффициентов взаимодействия по аналогии Нусселтса [8], имеющей аналитически точное значение. Аналогия Нусселтса заключается в том, что форм-фактор грани относительно точки есть проекция вектора телесного угла грани на расчётную плоскость, что аналогично проекции части полусферы единичного радиуса на плоскость её основания.

Математическое моделирование с расчётом вертикальной освещённости на участках реальных трасс показало, что погрешность расчёта освещённости при использовании аналогии Нусселтса становится существенно ниже погрешности при использовании закона квадратов расстояний только при больших размерах элементов, когда сама величина погрешности доходит до десяти и более процентов (рис. 6). Вместе с тем расчёт коэффициентов по аналогии Нусселтса занимает примерно в два раза больше времени. Исходя из этого, более целесообразно использовать закон квадратов расстояний.

Также в рамках описанного выше математического моделирования в экспериментальной расчётной программе была проведена серия расчётов с различными параметрами для двух типов трасс – участок прямой трассы с изломом в 37° и участок трассы хаф-пайпа, которая представляет собой половинку трубы. Целью было определение максимальных размеров элементов, при которых погрешность не выходит за установленные пределы. Из полученных результатов сделаны следующие выводы: до размера элемента 1,5 м на прямой трассе и до 1,25 м на трассе хаф-пайпа погрешность не превышает 1 %, при размере элемента до 3 м на прямой трассе и до 2,5 м на трассе хаф-пайпа погрешность не превышает 5 %.

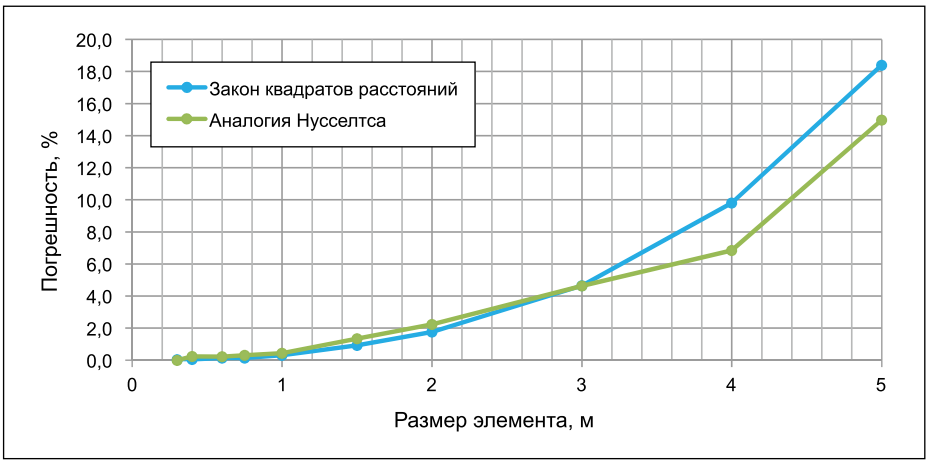


Рис. 6. Зависимость погрешности от размера элемента

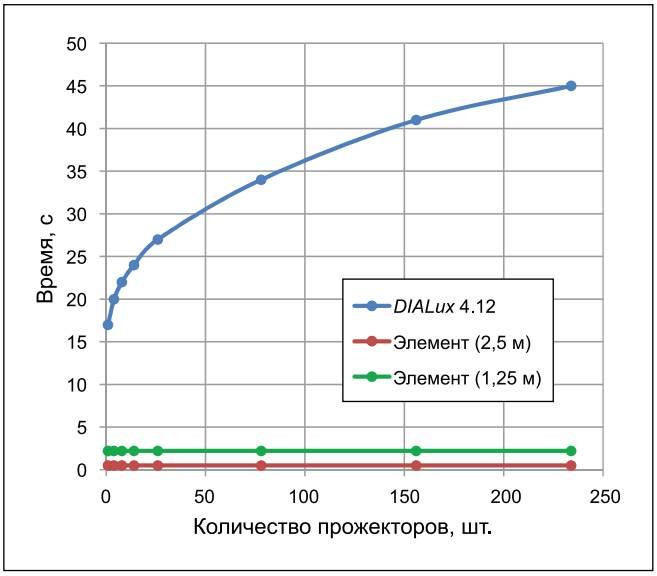


Рис. 7. Сравнение по времени расчёта

Поскольку скорость расчёта коэффициентов в предложенном методе критически зависит от количества учитываемых итераций многократных отражений, следующей задачей было выяснить минимальное число итераций, которое будет достаточным для данного типа объектов. При помощи математического моделирования удалось выяснить, что для участка трассы хаф-пайпа вклад 3-й и далее итераций в вертикальную освещённость не превышает десятой доли процента и, соответственно, их можно не учитывать в расчёте. Для участка прямого склона с изломом в 37° вклад 2-й и дальнейших итераций не превышает десятых долей процента. Также, вклад 2-й итерации в хаф-пайпе не превышает 1 %, а вклад 1-й итерации на прямых трассах – 3 %. Учёт столь небольших значений можно оставить на усмотрение проектировщика.

Проверка точности и скорости расчёта

После разработки и реализации в экспериментальной расчётной программе описанного выше алгоритма экспресс-расчёта он был проверен на точность расчёта двумя разными способами. Первый – это решение задачи Соболева [9], которая представляет собой расчёт освещённости от точечного источника, расположенного между двух бесконечных параллельных плоскостей, и имеет точное аналитическое решение. Второй – сравнение с программой «*DIALux*» на тестовом участке трассы. Сравнение данных, полученных в программе экспресс-расчёта, с аналитическим решением задачи Соболева и выходными данными из программы «*DIALux*» показало хорошую сходимость результатов.

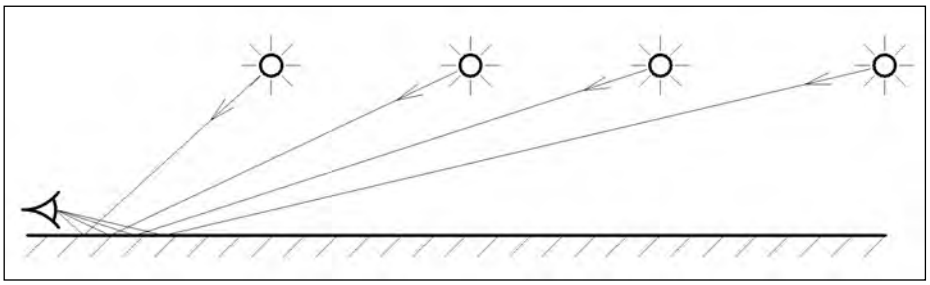


Рис. 8. Схема нацеливания и перемещения прожектора

Рис. 9. Сравнение по вуалирующей яркости (в кд/м^2) при узкой КСС прожектора

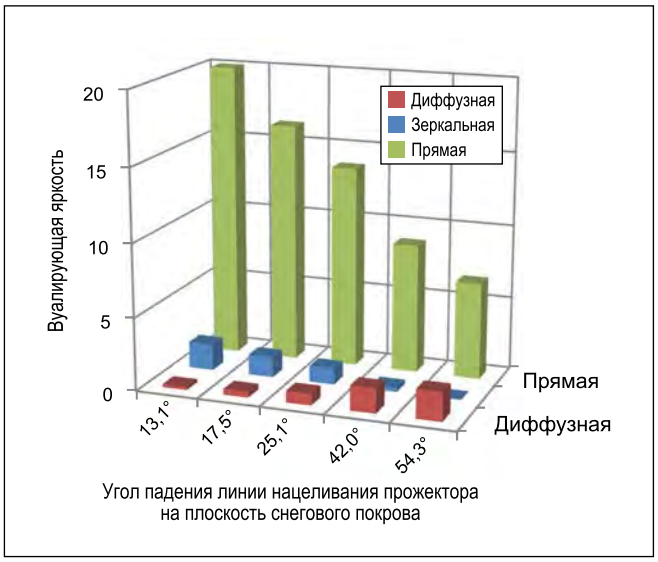


Рис. 10. Сравнение по вуалирующей яркости (в кд/м^2) при широкой КСС прожектора

Кроме того, было проведено сравнение по времени расчёта с программой «*DIALux*». Как уже было сказано выше, для расчёта спортивного освещения важно, чтобы пересчёт сцены после внесения в неё изменений производился «в режиме реального времени», т.е. не более чем за несколько секунд. Сравнение проводилось на тестовой трассе для двух вариантов размера элементов – 1,25 и 2,5 м. Была учтена 1 итерация, расчёт коэффициентов взаимодействия занял соответственно 123 и 25 с. Результаты сравнения в зависимости от количества прожекторов в сцене, приведены на рис. 7.

Из приведённого графика видно, что при проведении оптимизации решения, когда последовательно изменяются настройки только одного из всех участвующих в сцене ОП, программа экспресс-расчёта позволяет обсчитывать эти изменения в разы быстрее, чем программа «*DIALux*». В данной сцене для одного прожектора разница составляет от 8 до 34 раз, в зависимости от выбранного размера элемента. При увеличении количества прожекторов, эта разница возрастает многократно и составляет от 20 до 90 раз.

Отражённая блёскость

Для оценки слепящего действия от зеркальной составляющей отражения снега было проведено математическое моделирование на основе имеющихся литературных данных по зеркальному отражению снега с ледяной коркой (настом) [10]. В программе была создана сцена с прямым участком трассы. Наблюдатель располагался в середине торцевой стороны данного участка, а прожектор, расположенный на продольной оси трассы, перемещался вдоль этой оси (рис. 8).

Световая ось прожектора наклонялась в вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось трассы, таким образом, чтобы отражённый луч попадал в глаз наблюдателя, т.е. был выбран наихудший с точки зрения ослеплённости случай. Линия зрения наблюдателя оставалась неизменной и, согласно существующей методике расчёта *GR*, составляла – 2° от горизонта. К сожалению, данная методика не позволяет учитывать яркие распределённые пятна. Поэтому для оценки влияния отражённой блёскости было принято решение сравнить между собой вуалирующие яркости для прямой от прожектора, диффузной от снега и зеркальной от снега составляющих освещённости. Полученные результаты для двух типов КСС представлены на рис. 9 и 10.

Они наглядно демонстрируют, что прямая составляющая создаёт значительно большую вуалирующую яркость, нежели зеркально отражённая, следовательно вклад последней в слепящее действие не будет определяющим.

Заключение

Разработанный метод позволяет производить качественные расчёты освещения горнолыжных склонов с учётом отражённого света, при этом форма трассы максимально приближена к её реальной форме, а скорость расчёта позволяет выводить результаты в течение нескольких секунд. Выявленные оптимальные исходные данные для расчёта, а именно число многократных отражений и размеры

элементов разбиения, позволяют проектировщику оптимизировать временные затраты на проектирование.

Проведённое математическое моделирование показало, что отражённая блёскость от снега сравнительно мала. Сам по себе вопрос о влиянии ярких распределённых пятен на слепящее действие остаётся открытым, но в практическом отношении при расчёте горнолыжных трасс, эффектом зеркального отражения снега можно пренебречь.

Созданный экспериментальный расчётный модуль обладает всем необходимым функционалом для расчёта горнолыжных трасс и, после небольшой доработки, может быть использован в качестве полноценной расчётной программы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дюнин А.К.* В царстве снега. – Новосибирск: Наука, СО, 1983.
2. Таблицы для расчёта природной освещённости и видимости. – Изд-во АН СССР, 1945.
3. ВСН-1–73/Спорткомитет СССР «Нормы электрического освещения спортивных сооружений».
4. *Митин А.И., Царьков В.М., Шахпарунянц Г.Р., Клюев С.А.* Критерии освещения стадионов при передачах цветного телевидения и методы их обеспечения при проектировании путём расчёта на ЭВМ // Светотехника.– 1979.– № 9. – С. 2–5.
5. EN12193: 1999 «Sports Lighting».
6. CIE169: 2005 «Practical Design Guidelines for the Lighting of Sport Events for Colour Television and Filming».
7. CIE112: 1994 «Glare evaluation system for use within outdoor sports and area lighting».
8. *Ashdown I.* Radiosity: A Programmer's perspective. – NY: John Wiley & Sons, 1994.
9. *Соболев В.В.* Точечный источник света между параллельными плоскостями // ДАН СССР.– 1944. – Т. 42, № 4. – С. 176–177.
10. *Dirmhirn I., Eaton F.D.* Some Characteristics of the Albedo of Snow. URL: https://doi.org/10.1175/1520–0450(1975)014<0375: SCOTAO>2.0.CO;2 (дата обращения: 02.2018).

Александров Сергей Александрович, *магистр. Окончил в 2003 г. МЭИ. Технический директор ООО «Спектор Лаб»*

Разработан приёмник УФ излучения на оксиде индия

В этом узкополосном приёмнике УФ излучения используются нанокристаллы In_2O_3, внедрённые в тонкую плёнку Al_2O_3. Полупроводниковые квантовые точки (нанокристаллы размером всего в несколько нм) привлекли внимание исследователей благодаря тому, что размер точек влияет на их электрические и оптические характеристики. Изменяя размер таких объектов, можно регулировать длину волны поглощаемого им излучения, тем самым реализуя селективный фотоприёмник, в том числе и для приёма УФ излучения.

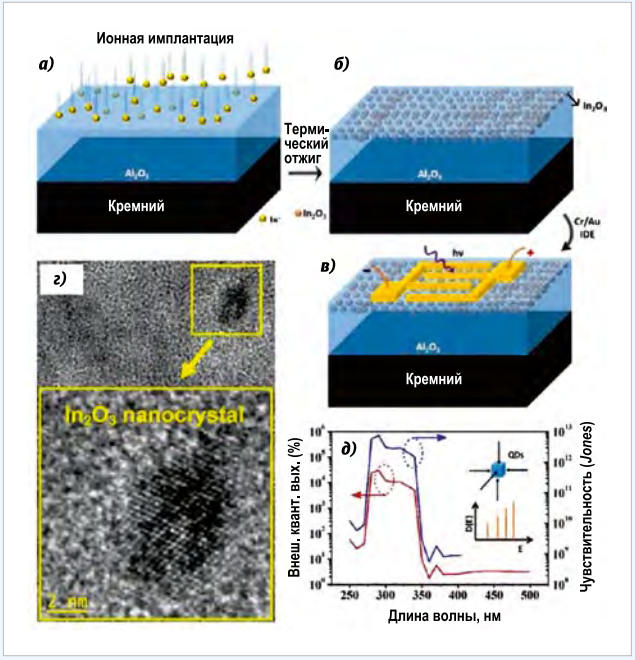
Узкополосные приёмники УФ излучения могут использоваться во многих областях применения, в частности в биологии и медицине, где они используются в флуоресцентной детекции и УФ фототерапии. Обычно для изготовления таких фотоприёмников используются оксиды и нитриды с широкими запрещёнными зонами, обеспечивающие большой диапазон рабочих температур и высокую прозрачность для видимого и солнечного излучения при малых размерах приборов.

Теперь же российские и индийские учёные разработали узкополосный приёмник УФ излучения на основе нанокристаллов In_2O_3, внедрённых в тонкую плёнку Al_2O_3. «В ходе нашей работы, нам удалось добиться существенного уменьшения темнового тока (более чем вдвое по сравнению с аналогичным фотоприёмником на основе нанопроволоки из In_2O_3). Благодаря внедрению In_2O_3 в широкополосную матрицу и низкому значению темнового тока новый фотоприёмник демонстрирует рекордные значения чувствительности и внешнего квантового выхода», – сказал Алексей Михайлов, руководитель лаборатории Научно-исследовательского физико-технического института Нижегородского государственного университета им. Лобачевского.

In_2O_3 представляет собой прозрачный полупроводниковый оксид, имеющий запрещённую зону шириной примерно 3,6 эВ с прямыми переходами и запрещённую зону шириной примерно 2,5 эВ с непрямыми переходами. Хорошо известно, что высокочувствительные приёмники УФ излучения могут быть созданы на основе In_2O_3. По словам Михайлова, российским учёным и их индийским коллегам удалось посредством имплантации ионов индия синтезировать нанокристаллы In_2O_3 в плёнке Al_2O_3 на силиконовой подложке.

Ионная имплантация является основным методом современной электронной технологии, позволяющим контролировать размеры примесей и, тем самым, управлять оптическими характеристиками фотоприёмников. Используемая для внедрения нанокристаллов In_2O_3 матрица из Al_2O_3 имеет некоторые преимущества перед другими диэлектриками, т.к. этот материал с широкой запрещённой зоной (8,9 эВ) прозрачен в широком диапазоне длин волн.

На приведённой выше схеме показаны процесс изготовления фотоприёмника на основе плёнки Al_2O_3 с синтезированными потоком ионов нанокристаллами In_2O_3 (*а–в*), полученное при помощи электронного микроскопа изображение нанокристалла In_2O_3 (*г*) и спектральные зависимости характеристик этого фотоприёмника.



Полоса чувствительности в УФ области имеет ширину всего 60 нм, причём коэффициент подавления видимого излучения относительно УФ излучения достигает 8400. Этот фотоприёмник очень подходит для практического применения, например в узкополосных спектрально селективных фотоприёмниках. Приборы на основе синтезированных нанокристаллов могут дать новый подход к созданию нечувствительных к видимому излучению фотоприёмников.

Подробности – в статье *Rajamani S. et al.* Deep UV narrow-band photodetector based on ion beam synthesized indium oxide quantum dots in Al2O3 matrix // Nanotechnology.– 2018. – Vol. 29, No. 30.

compondsemiconductor.net
06.07.2018

BL
Group
Международная
светотехническая
корпорация
БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП
Лидер светотехнической отрасли России
• Проектирование и дизайн
• Разработка и конструирование световых приборов
• Разработка программного обеспечения
• Производство
• Строительно-монтажные и пусконаладочные работы
• Управление освещением
• Эксплуатационное обслуживание
• Сбыт световых приборов и металлоконструкций
Россия, г. Москва,
проспект Мира, д. 106
bl-g.ru
(485) 785-37-40

Разработка системы аварийного освещения на базе микроконтроллера со средствами дымообнаружения и мобильной связи[1]

Ш. МУХЕРДЖИ [1], П. САТВАЙЯ [2], С. МАЗУМДАР [3]

[1] Джадавпурский университет, Колката, Индия

[2] Школа науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета, Колката, Индия

[3] Электротехнический факультет Джадавпурского университета, Колката, Индия

E-mail: smshibabrata@gmail.com

Аннотация

Описана система аварийного освещения на основе микроконтроллера, которая может на ранней стадии обнаруживать возгорание и передавать сигнал пожарной тревоги через мобильную сеть. Это достигается с помощью технологии газодымовых датчиков с интегрированным микроконтроллером, мобильной связью и аварийным освещением светодиодами. Первые пять минут с момента возгорания важнее, чем последующие пять часов [1]. То есть важно как можно раньше обнаруживать возгорание и начинать тушить пламя в момент его возникновения. Во многих опасных зонах, где имеют дело с огнеопасными материалами, любая утечка газа или рассыпание горючих материалов могут вызывать формирование взрывоопасной атмосферы. При этом раннее обнаружение утечки газа или дыма важно, так как сокращает количество возможных жертв и травм в результате пожара. На практике пожаротушение должно начинаться с помощью переносных огнетушителей вслед за обнаружением огня, и о пожаре необходимо сообщать в службу пожарной охраны. Рассматриваемая система позволяет начинать тушить пожар сразу после обнаружения возгорания с передачей сообщения об этом жителям дома и включением аварийного освещения для указания пути эвакуации.

Ключевые слова: светильник аварийного освещения, путь эвакуации, газодымовой датчик, опасная зона, мобильная связь.

1. Введение

Комбинированная система дымообнаружения с аварийным освещением (АО) и системой связи может спасать жизнь людей при пожаре в жилом доме, ведомственном здании или кинотеатре. Дым распространяется очень быстро, и прекращение подачи электроэнергии происходит немедленно; при этом срабатывает дымовая пожарная сигнализация и включается светильник аварийного освещения (САО), указывающий путь эвакуации. Основная цель системы обнаружения состоит в том, чтобы: срабатывание происходило как можно быстрее; преобразовывать реакцию системы в срабатывание автоматической аварийной сигнализации; передавать *SMS* сигнал тревоги; немедленно включать САО для обеспечения безопасной эвакуации людей и перемещения важных документов в безопасную зону [2]. САО имеет аккумуляторное питание и включается через реле. Рассматриваемая система может обнаруживать дым и утечку различных газов, в частности сжиженного нефтяного газа, метана, бутана и любых других газов нефтяного происхождения. Система передаёт *SMS* сообщение, оповещающее об аварийной ситуации, чтобы люди с помощью САО могли быстро эвакуироваться. Она легко монтируется, весьма проста в эксплуатации, имеет довольно большой срок службы, а также более надёжна и компактна по сравнению с предшествующими решениями. Система разработана в светотехнической лаборатории Джадавпурского университета.

2. Необходимые аппаратные компоненты

Для работы системы требуются: 1) газодымовой датчик (*MQ2*), для обнаружение дыма и газа; 2) плата микроконтроллера для управления системой в целом; 3) *GSM* модуль для мобильной связи; 4) 5-В реле для включения САО; 5) САО со светодиодом, указывающий путь эвакуации; 6) источник постоянного тока для питания САО в аварийной ситуации; 7) ЖК-дисплейный модуль для отображения информации о наличии газа или дыма; 8) транзистор для коммутации; 9) 12-В блок питания *GSM* модуля; 10) тревожная сирена; 11) небольшой светодиод для проверки правильности срабатывания цепи реле.

3. Принцип работы модуля газодымового датчика

На рис. 1 показана блок-схема функционирования модуля газодымового датчика. В рассматриваемой системе преимущественно используются модули газодымового датчика полупроводникового типа. Чувствительным веществом газодымового датчика служит SnO_2. Первоначально, когда воздух чист, электропроводность межэлектродного промежутка датчика невелика, так как его сопротивление составляет порядка 50 кОм и расстояние между электродами не меняется. Сигнал на инвертирующем входе компаратора больше, чем на неинвертирующем. Звуковой сигнал и светодиод индикатора выключены. В случае возгорания, когда датчик заполняется дымом, сопротивление датчика снижается до 5 кОм и проводимость межэлектродного промежутка возрастает [3]. Это приводит к росту сигнала на неинвертирующем входе компаратора по сравнению с инвертирующим входом, и сигнал на выходе компаратора возрастает. Светодиодная сигнализация и звуковой сигнал включаются, тем самым оповещая о наличии дыма. Чувствительность газодымового датчика регулируется потенциометром.

4. Микроконтроллер, используемый в системе

В этой системе используется микроконтроллер с платой «*ARDUINO UNO*», построенной на чипе «*ATmega328P*». Она имеет 14 цифровых пинов входа/выхода. Из них 6 пинов можно использовать как ШИМ выходы. При этом входное напряжение – 7–12 В постоянного тока, рабочее напряжение – 5 В постоянного тока, ток на входных и выходных пинах – 40 мА, ток на 3,3-вольтовых пинах – 50 мА, количество аналоговых входов – 6, кварцевый кристалл – на

[1] Перевод с англ. Г.Г. Горелова

16 МГц, тип разъёма – *USB*; имеются разъём питания, монтажная плата с выводами внутрисхемного программирования и кнопка сброса [4].

5. Обеспечение связи между газодымовым датчиком, микроконтроллером и аварийным освещением

Газодымовой датчик с АО внедрён в эту систему в целях безопасности и может использоваться в любом здании. Это достигается с помощью технологии газо- и дымообнаружения и интеллектуального использования интегрированного микроконтроллера, мобильной связи и САО со светодиодом. При этом используется светодиод, питаемый от аккумулятора с током 0,25 А и напряжением 3 В. На рис. 2 показана принципиальная схема использования микроконтроллера для сопряжения газодымового датчика с САО.

При разработке системы газо- и дымообнаружения возникла необходимость непрерывного мониторинга параметров датчика. Эта комбинированная система с САО и системой связи может непрерывно мониторить уровень наличия дыма (из-за возгорания) или газа (из-за утечки). Это достигается путём непрерывного сканирования цифрового выхода (D_0) датчика. Если воздух чист, что является признаком отсутствия дыма или утечки газа, уровень сигнала на этом цифровом выходе датчика велик, а проводимость между электродами датчика мала. Если возникают дым или утечка газа, то проводимость между электродами датчика возрастает, уровень сигнала на цифровом выходе (D_0) датчика снижается, в результате чего передаётся *SMS* оповещение об аварии и включаются тревожная сирена и САО [5].

Когда возникает аварийная ситуация, с помощью команд управления модемом посылается тревожное *SMS* оповещение. Соответствующая программа формирует набор сигналов этого оповещения, на базу транзистора *Q1* подаётся импульс повышенной мощности, вызванный наличием дыма или газа, транзистор включается или смещается в прямом направлении и включает тревожную сирену, соединённую с определённым пином микроконтроллера. Как только система обнаруживает дым или утечку газа, по сети передаётся числовой набор *SMS* оповещения. При возникновении такой ситуации люди должны принимать соответствующие меры для прекращения возгорания и утечки газа.

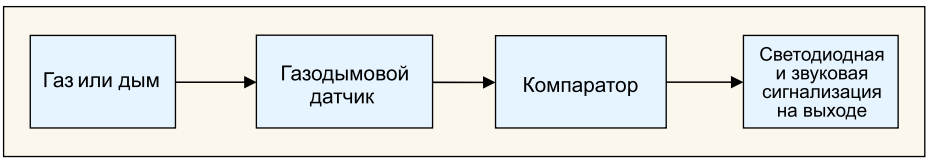


Рис. 1. Блок-схема модуля газодымового датчика

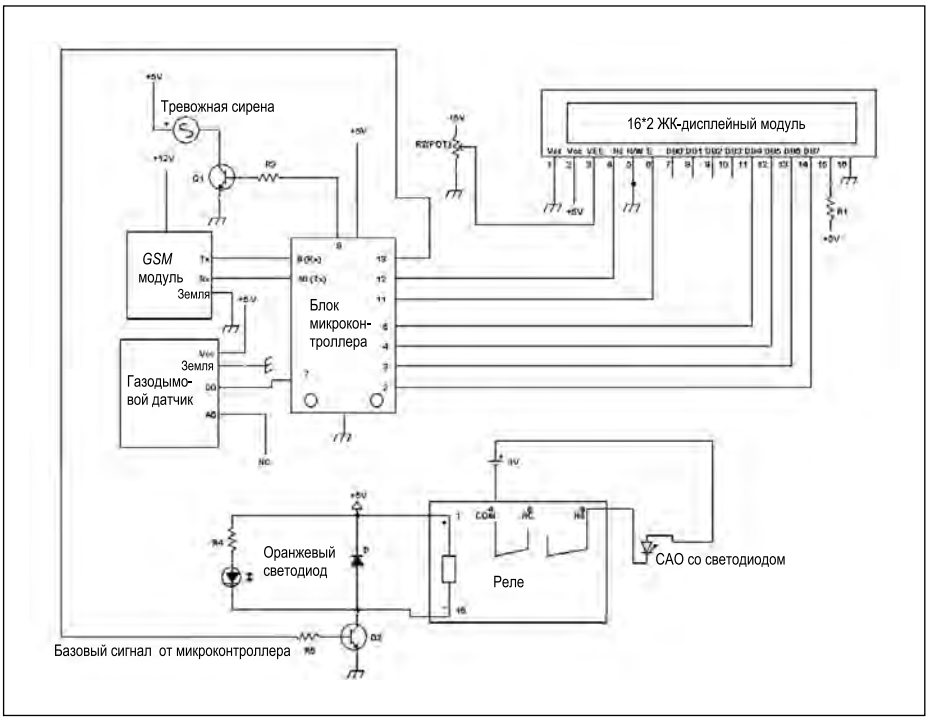


Рис. 2. Принципиальная схема использования микроконтроллера для сопряжения газодымового датчика со светильником аварийного освещения

После отправки *SMS* оповещения система активирует включение САО, а после прекращения наличия дыма или утечки газа система автоматически реактивирует *SMS* оповещение путём сброса *SMS* отсчёта на ноль. На рис. 3 представлена блок-схема сопряжения газодымового датчика с САО. Когда на базу транзистора *Q2* в результате обнаружения дыма или газа поступает импульс повышенной мощности, транзистор включается или смещается в прямом направлении; на реле также подаётся напряжение, и состояние «нормально замкнуто» меняется на «нормально разомкнуто»; САО включается.

В этой схеме используется небольшой оранжевый светодиод, служащий для проверки правильности работы цепи реле (правильно ли запитана цепь реле при наличии дыма или газа). Когда наличия дыма или утечки газа нет, на базу транзистора подаётся слабый импульс, на транзистор подаётся обратное смещение, и реле обесточивается. В этой ситуации состояние реле «нормально разомкнуто» меняется на «нормально замкнуто». На рис. 4 показана экспериментальная установка с микроконтроллером для сопряжения газодымового датчика с САО.

6. Преимущества системы

Разработанная нами комбинированная система газодымообнаружения с АО обладает следующими достоинствами:

- САО со светодиодом имеет продолжительный срок службы, небольшие размеры, высокую энергоэффективность и хорошую заметность благодаря монохроматическому жёлтому свету светодиода. При надлежащем обслуживании система может работать в течение длительного периода времени.
- Система легко монтируема и очень проста в эксплуатации.

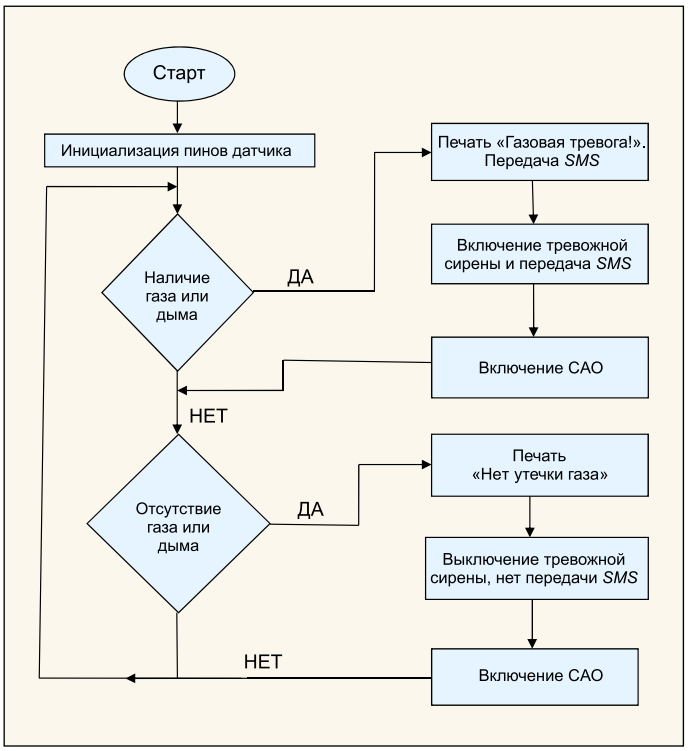


Рис. 3. Блок-схема сопряжения газодымового датчика со светильником аварийного освещения

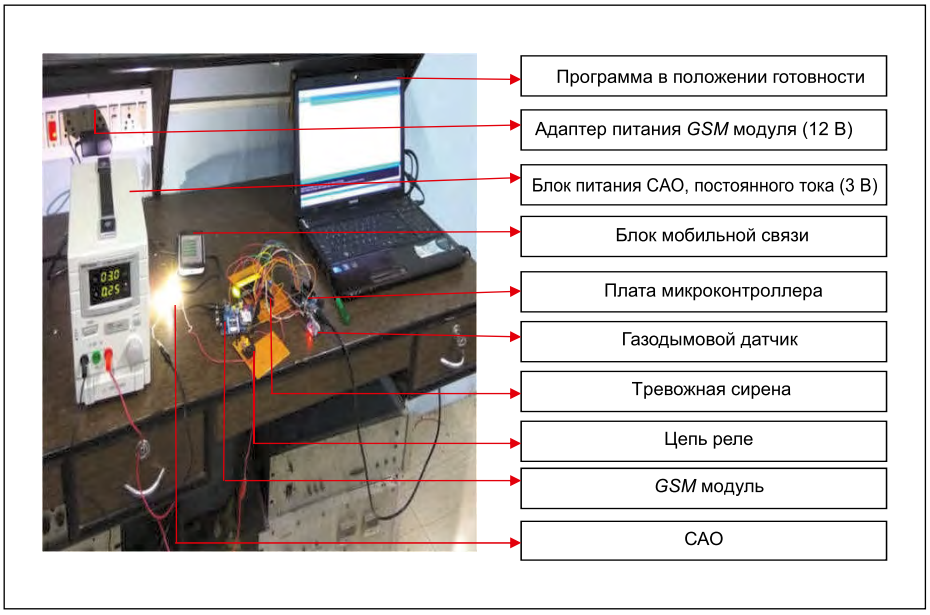


Рис. 4. Экспериментальная установка с использованием микроконтроллера для сопряжения газодымового датчика со светильником аварийного освещения

• Она надёжно работает в жилых, производственных и торговых помещениях.

• Система обнаруживает утечку различных газов, в частности сжиженных природных газов, метана бутана и других газов нефтяной основы, а также дыма.

7. Недостатки системы

У данной комбинированной системы есть и недостатки:

• Источником питания газодымового датчика с САО служит аккумуляторная батарея, которая требует регулярной проверки, обслуживания и замены. С разряженной батареей эти устройства работать не будут.

• Наличие водяного пара в воздухе очень вредно для газодымового датчика, и потому его не следует устанавливать в ванной комнате, парилке или над кухонной плитой. Иначе он может выйти из строя или работать со сбоями.

• Газодымовой датчик не следует устанавливать вблизи газовых плит и духовок, иначе это может вызывать ложную тревогу. Но при этом в таких зонах необходим тщательный контроль в плане пожароопасности. В таких случаях систему следует обязательно монтировать в наиболее подходящих местах на стене или на потолке [6].

8. Заключение

В рассмотренной системе газодымовой датчик с САО оснащается микроконтроллерным устройством. В нашем беспокойном мире риски возрастают из-за человеческой беспечности и безответственности. Сегодня автоматизация и техника безопасности – важнейшие факторы повседневной жизни. Данная система ускоряет решение проблемы бытовой и промышленной автоматизации и проектирования систем безопасности, которые сегодня уже почти полностью стандартизованы. Все хотят жить в возможно более безопасных условиях, и если разработанная нами система получит широкое распространение, она сможет спасать жизнь многих людей благодаря раннему оповещению и указанию пути эвакуации.

В аварийных ситуациях в будущем может использоваться освещение лазерами, которые обеспечат большую чувствительность системы к дыму и вредным газам, чем светодиоды, из-за большей монохроматичности и стабильности лазерного излучения.

Рассмотренная комбинированная система с газодымовым детектором, САО и системой связи может использоваться не только внутри ведомственных зданий и музеев. По ночам, когда плотность населения в любом месте очень низка, при возникновении пожара снаружи здания огонь может быстро распространяться и охватывать также интерьеры здания (и повредить тем самым важные документы, инструменты, экспонаты).

Рассмотренная комбинированная защитная система может быть эффективна также и при уже распространившемся пожаре, способном очень быстро охватывать жилые дома, нанося значительный ущерб имуществу и самой человеческой жизни. И данная система может предотвращать подобный ущерб собственности, человеческой жизни, природе, лесам и многому др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. People of Planet Earth and Fire / *Debabrata Biswas*, B.E Mining, Calcutta University, Life Member: M.G.M.I & LPAI.
2. The SLL Lighting Handbook / *Peter Boyce* Ph.D, FSLL, FIESNA & *Peter Raynham* B. Sc M. Sc CEng FSLL MCIBSE MILE.
3. MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. URL: https://www.pololu.com/file/download/MQ2.pdf?file_id=0J309.
4. URL: www.arduino.org/products/boards/arduino-uno.
5. Gas Leakage Detector using Arduino and GSM Module with SMS Alert and Sound Alarm. URL: http://www.circuitstoday.com/gas-leakage-detector-using-arduino-with-sms-alert.
6. The Disadvantages of Smoke Alarms / *Marc Chase*. URL: www.hunker.com/13419400/the-disadvantages-of-smoke-alarm.

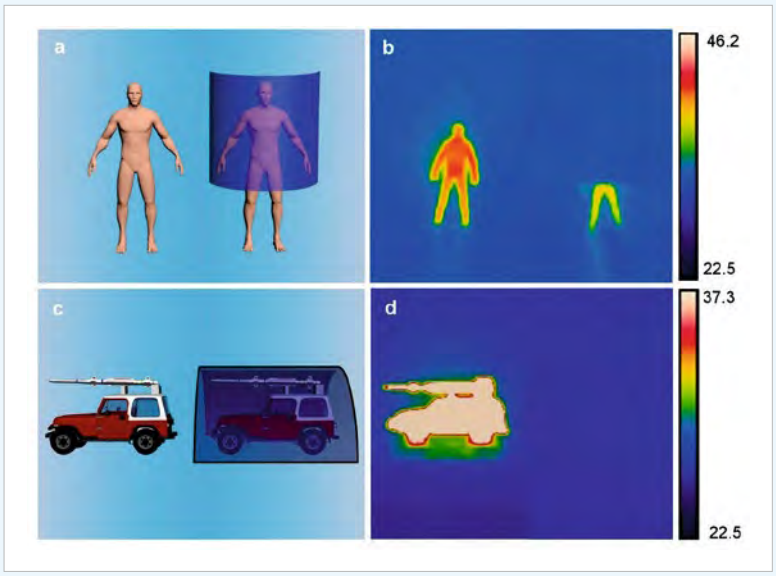
Шибабрата Мухерджи (Shababrata Mukherdjee), *M. Tech техники и проектирования освещения (Джадавпурский университет, 2017 г.). Область научных интересов: нетрадиционные источники энергии и оптическая связь*

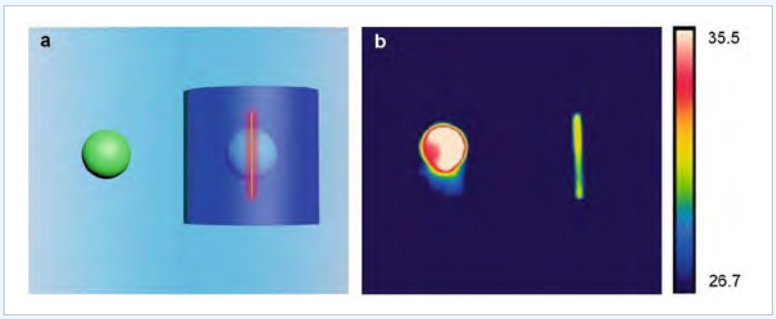
Партхасаратхи Сатвайя (Parthasarathi Satvaya), *M.E. светотехники (2008 г.). Доцент Школы науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета, Колката, Индия. Область научных интересов: интеллектуальное освещение и электронная измерительная аппаратура*

Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar), *Ph.D, профессор электротехники. Профессор электротехнического факультета Джадавпурского университета. Имеет 30-летний исследовательский и преподавательский опыт работ по светотехнике. Провела в этом вузе модернизацию светотехнической лаборатории и основала магистерские курсы по светотехнике (дневные) и по технике и проектированию освещения (вечерние). Участвовала во многих НИОКР и консультационных проектах по светотехнике и смежным областям*

Новый метаматериал делает предметы невидимыми в ИК диапазоне

ИК датчики позволяют видеть цель даже в самой кромешной тьме, замечать и распознавать летающие аппараты и ракеты. Их появление привело к развитию и средств маскировки объектов от «тепловых» камер. Новый материал, разработанный в Висконсинском университете в Мадисоне, делает их практически невидимыми в ИК диапазоне. О нём рассказывается в статье, опубликованной в журнале *Advanced Engineering Materials* (https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201800038).





В самом деле, материалы, снижающие тепловое излучение объектов, уже существуют и даже применяются, однако указанная новинка куда тоньше и легче аналогов. По словам учёных, покрытие тоньше миллиметра поглощает более 95 % ИК излучения с λ от 2,5 до 15,5 мкм. Оно эффективно работает и в среднем, и в дальнем ИК диапазонах, в которых активно отдаёт тепло человеческое тело, что делает материал особенно перспективным для военных.

Для этого использовали «чёрный кремний» – метаматериал, поверхность которого выглядит как наноразмерный густой «лес» из крошечных вертикальных столбиков. Он действительно известен способностью поглощать излучение в видимом и ИК диапазонах. При этом удалось усовершенствовать метод изготовления метаматериала, получив более длинные и высокие наностолбики и внедрив в них наночастицы серебра. В результате он стал ещё эффективнее поглощать фотоны ИК диапазона.

Наконец, авторы интегрировали в метаматериал миниатюрные ИК излучатели, контролируя работу которых, можно создавать ложный образ объекта, сбивая с толку системы противника.

naked-science.ru/
25.06.2018

Предварительная оценка предпочтений жителей Индии в части коррелированной цветовой температуры при кратковременной хроматической адаптации[1]

А.М. ДУГАР[1,3], Д. АГАРВАЛ[2]

[1] Компания *Lighting Research & Design*, Ченнаи, Индия
[2] Компания *Thea Light Works*, Хайдарабад, Индия
[3] Email: amdugar@lighting-rnd.in

Аннотация

Приведены результаты небольшого предварительного исследования предпочтений жителей Индии в части коррелированной цветовой температуры (КЦТ) при кратковременной хроматической адаптации. Предпочтения в части КЦТ исследовались с использованием регулируемой по спектру осветительной установки с СД. Помещение освещали двумя светильниками с СД, каждый из которых содержал 216 групп из трёх СД с КЦТ 3000, 4000 и 6500 К (всего 648 СД). Исследование предпочтений пользователей производилось с участием 50 жителей Индии, каждый из которых занимался обычной повседневной деятельностью (чтение, просмотр телевизора, приём пищи и отдых) в помещении, полностью освещаемом светом с КЦТ, равной 3000, 4000 или 6500 К. Исследования показали, что наименее предпочтительными являются 6500 К, тогда как для такой целенаправленной деятельности, как чтение и приём пищи, предпочтительными являются 4000 К. В то же время, в случае нецеленаправленной деятельности, такой как просмотр телевизора и отдых, участники не могли провести различие между 3000 и 4000 К.

Ключевые слова: коррелированная цветовая температура, СД освещение, кратковременная адаптация, культура.

1. Введение

Целью этого небольшого предварительного исследования была выработка рекомендаций по улучшению восприятия изделий с СД на основе данных о предпочтениях наблюдателей в части коррелированной цветовой температуры (КЦТ) при кратковременной хроматической адаптации. КЦТ представляет собой температуру чёрного тела, при которой его координаты цветности наиболее близки к координатам цветности, соответствующим спектральному распределению энергии излучения (СРЭИ) рассматриваемого источника света, и характеризует восприятие освещения в интервале от красновато-желтовато-белого до синевато-белого цвета [1]. Под хроматической адаптацией понимают способность зрительной системы человека подстраиваться под изменения освещения для сохранения цветового облика предметов. Она обеспечивает неизменность цветов объектов при изменении спектрального состава падающего на них излучения [2]. Кратковременная цветовая адаптация имеет место при 15-минутном или более кратковременном воздействии окрашенного света, причём последствия этой адаптации затухают в течение минут или секунд [3]. Исследования показали, что при постоянной яркости хроматическая адаптация завершается на 90 % после примерно 60 с воздействия света [4]. Данное исследование посвящено определению того, освещение с какой КЦТ предпочтительно при повседневной деятельности (чтение, просмотр телевизора, приём пищи и отдых), а не цветовому облику освещаемых объектов.

Задачей данного исследования была оценка того, влияет ли культура на предпочтения людей в части КЦТ при кратковременной хроматической адаптации. Исследования, проведённые применительно к разным культурам, продемонстрировали потребность в источниках света, способных динамически регулировать цветность освещения, т.к. они способны улучшить самочувствие людей, относящихся как к одной культуре, так и к нескольким культурам [5–8]. Являясь одним из параметров, характеризующим цветность освещения, КЦТ источника света играет важную роль с точки зрения как психологии, так и физиологии людей [9]. Предпочтения в части КЦТ при кратковременной хроматической адаптации выбраны нами потому, что, как показали проведённые ранее исследования [10–12], при полной адаптации людей к условиям освещения изменения КЦТ в интервале от 2500 до 6500 К мало влияют на предпочтения людей в части освещения.

Успешное развитие осветительных приборов с СД позволило приспосабливать КЦТ освещения к различным потребностям людей [13]. Индия балансирует на грани превращения в крупнейший рынок СД освещения, что обусловлено правительственными программами по замене неэффективных ламп на СД [14]. Государственное ключевое агентство *Energy Efficient Service Ltd* (*EESL*), которое отвечает за переход от старой техники (компактных люминесцентных ламп или ламп накаливания) на СД, нацелено на увеличение к 2018 г. объёма продаж СД ламп до 700 млн шт. Принятая *EESL* схема распределения, получившая название *Unnat Jyoti by Affordable Lamps for All* (*UJALA*), сыграла важную роль в уменьшении розничных цен СД ламп мощностью 9 Вт вплоть до $1,00 за штуку в целях стимулирования перехода потребителей на эти энергоэффективные лампы. Учитывая тот факт, что в рамках схемы *UJALA* осуществляется раздача СД ламп только с равным 6500 К значением КЦТ, то в этом случае Индия выступает в роли культурной испытательной станции для определения того, на самом ли деле население Индии предпочитает КЦТ, равную 6500 К. Данное исследование ограничено равными 3000, 4000 и 6500 К значениями КЦТ, т.к. это наиболее легкодоступные на индийском рынке КЦТ СД источников света.

2. Методы

В работе использовался метод повторных перекрёстных измерений, когда выборка исследуется только один раз для получения и анализа соответствующих реакций. 50 участников, разделённых на группы из трёх или четырёх человек, были помещены в экспериментальную среду и должны были заполнить вопросники. Хотя

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

50 человек – это очень маленькая выборка, чтобы быть характеризовать всё население Индии, это предварительное исследование, в первую очередь, преследует цель проверки используемой методики на населении одного индийского города, с тем чтобы впоследствии провести аналогичные исследования в других города. Эксперимент проводился в южном индийском городе Хайдарабаде, и участников набирали именно в этом городе.

В литературе отмечается, что КЦТ сама по себе не может однозначно описать используемое при проведении исследований СРЭИ, так как одному и тому же значению КЦТ могут соответствовать самые разные СРЭИ [12]. Поэтому помимо КЦТ для описания светильников в этом исследовании использовался ещё и общий индекс цветопередачи (ИЦП), т.к. в Индии для описания качества обеспечиваемой освещением цветопередачи широко используются именно эти две характеристики. Под ИЦП понимают воздействие света на цветовой облик объекта при его осознанном или неосознанном сравнении с цветовым обликом того же объекта при освещении его эталонным источником света. При этом ИЦП определяется СРЭИ соответствующего ИС [15]. Исследования проводились в экспериментальной комнате, освещённой регулируемой осветительной установкой с СД, генерирующей свет с КЦТ, равной 3000, 4000 и 6500 К, и ИЦП, равным 80, и создающей на крышке стола освещённость, равную 300 лк (рис. 1). Значения КЦТ и ИЦП взяты из данных производителя, приведённых для этой осветительной установки с СД. Эксперимент продолжался примерно 9 ч и охватывал два дня, причём на каждую из групп приходилось примерно 40 мин.

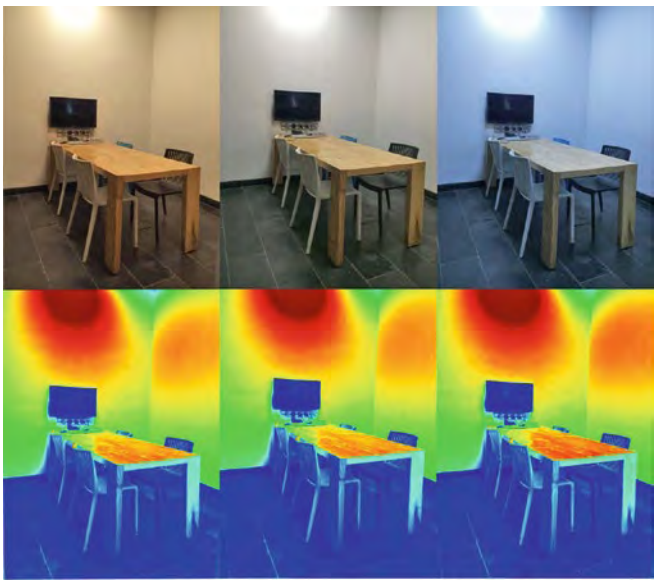


Рис. 1. Экспериментальная комната с регулируемой осветительной установкой с СД, генерирующей свет с тремя значениями КЦТ (3000 К слева, 4000 К в центре, 6500 К справа) при равной 300 лк средней освещённости на поверхности стола

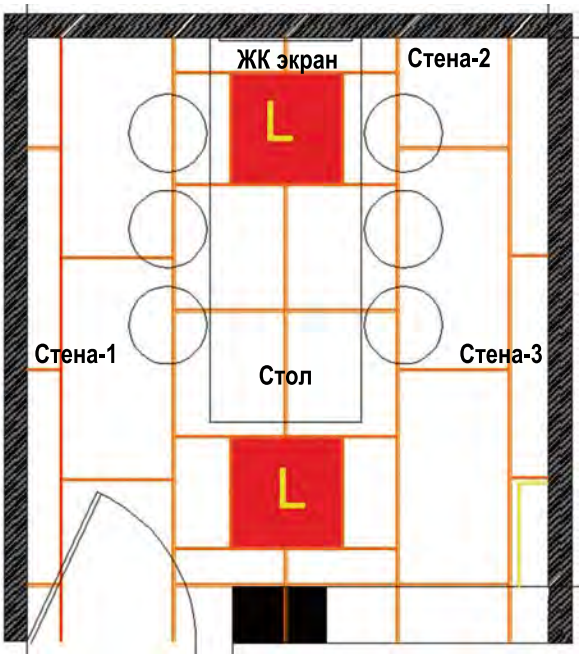


Рис. 2. План экспериментальной комнаты (L – СД панель, встроенная в подвесной потолок)

2.1. Помещение

Эксперимент проводили в замкнутом помещении (без окон, которые служили бы внешними источниками света) в хайдарабадском офисе компании *Thea Light Works*. Комната имела размеры 3,0 м в длину, 2,9 м в ширину и 3,0 м в высоту и освещалась двумя светильниками с СД, встроенными в подвесной потолок (рис. 2). Температура в комнате при помощи установленного на стене кондиционера поддерживалась равной 24 ºС. Комната была обставлена таким образом, чтобы обеспечить участникам возможность читать, смотреть телевизор, принимать пищу и отдыхать. Прямоугольный стол цвета светлой сосны был помещён вплотную к расположенной напротив входа стене, и к нему были приставлены 4 офисных стула. Высота стола была равна 0,7 м. На примыкающей к столу стене, прямо над ним, был установлен 24-дюймовый телевизионный экран. Настройки экрана (яркость, цветовая температура, гамма, насыщенность, цветовой тон и зернистость) поддерживались постоянными на всём протяжении эксперимента. Кроме того, на примыкающей к двери стене имелась книжная полка, предназначенная для хранения всех связанных с проведением исследований материалов, таких как цветные журналы и еда. Во время эксперимента на столе размещались отпечатанные вопросники и ручки. Коэффициенты отражения поверхностей помещения приведены в табл. 1.

2.2. Светильники

Для освещения комнаты использовались два сделанных на заказ встраиваемых в потолок светильника с СД, имеющие размеры 598×598×86 мм каждый. Светильники с СД и система управления для них были изготовлены с помощью производителя светильников. Светильники состояли из следующих четырёх основных компонентов:

Таблица 1

Коэффициенты отражения поверхностей помещения

Поверхность	Материал	Цвет	Коэффициент отражения
Потолок	Звукопоглощающая плитка	Чёрный матовый	0,05
Стена 1	Пластик	Серый	0,28
Стены 2, 3	ДСП	Белый	0,82
Пол	Местный камень	Чёрный матовый	0,05
Стол	Дерево	Сосна	0,45
Полка	Дерево	Белый матовый	0,85
Стулья (4 шт.)	Пластик	Белый/Чёрный/Синий	0,85/0,10/0,50
ЖК экран (выключен)	Жикокристаллический	Чёрный	0,12

Таблица 2

Демографические данные 50-ти участников из Хайдарабада

Возрастная группа, лет	16–24	25–34	35–44	45–54	55 и старше
	7	25	8	4	6
Месячный доход (индийские рупии)	Менее 5000	5000–24000	25000–49000	50000–74000	75000 и выше
	2	21	11	7	9
Вероисповедание	Христианство	Индуизм	Мусульманство	Джайнизм	Сикхи
	4	42	2	1	1
Путешествия – в пределах Индии	Бангалор	Ченнаи	Дели	Колката	Мумбаи
	33	27	30	20	36
Путешествия – за пределами Индии	0 раз	1 раз	2 раза	3 раза	4 раза
	23	7	4	3	13
Пол	Мужской		Женский		
	35		15		
Место жительства	Город		Пригород		
	41		9		
Образование	Среднее и ниже		Высшее и выше		
	11		39		

• СД панели: 3-канальные панели, содержащие СД компании *Edison* (*PLCC2835 0.2W LC CRI80*).

• Устройство управления для СД: регулируемое устройство управления постоянного напряжения системы *DALI* компании *Osram Optotronic* (*OTi DALI75/220–240/24 1–4 CH*).

• Контроллер: 4-канальный контроллер *LightMaster Modular* компании *Philips* (*PDLPC416FR-KNX*).

• ИК приёмник: *Triton 3/6-fach MF/IR* компании *Busch-Jaeger* (*320/30–24G*).

Каждый из светильников включал в себя шесть СД панелей, содержащих по 36 групп из трёх разных СД, имеющих по данным производителя КЦТ, равные 3000, 4000 и 6500 К, и одно и то же, равное 80-ти, значение ИЦП, т.е. всего 648 СД (рис. 3). СД панели закрывали плексигласовые рассеиватели, обеспечивающие равномерное распределение яркости в пределах выходного окна светильника. Изменения КЦТ и ИЦП, обусловленные внутренними отражениями в светильниках и рассеянием света в плексигласе, в данном исследовании не учитывались. В каждом из светильников имелось три устройства управления, по одному для каждого из каналов, объединяющих СД с одинаковыми значениями КЦТ. Оба светильника и шесть их устройств управления были подключены к контроллеру, что позволяло управлять значением КЦТ и освещённостью (с использованием имеющихся в светильниках приёмников ИК излучения).

2.3. Выбор участников

Т.к. целью этого исследования было изучение мнений всех групп населения Индии, отличающихся по возрасту, полу и социально-экономическому статусу, то при отборе участников

использовался простой метод случайного выбора. Кроме того, случайный отбор участников и идентичность их подготовки к проведению исследований обеспечивали отсутствие какого бы то ни было влияния индивидуальных особенностей участников. 50 человек, которые согласились участвовать в эксперименте, включали в себя представителей как населения вообще, так и сотрудников компаний, расположенных в здании, в котором проводились исследования. Краткие демографические данные этих 50-ти участников приведены в табл. 2. Большинство участников принадлежали к возрастной группе 25–34 года (50 %), имели месячный доход от 5000 до 24000 индийских рупий (42 %), исповедовали индуизм (84 %), посещали г. Мумбаи (72 % по сравнению со всеми другими крупными индийскими городами), выезжали за пределы Индии (54 %), жили в городе (82 %) и имели законченное образование (78 %).

Рис. 3. Встраиваемый в потолок светильник с шестью СД панелями, закрытыми рассеивателем из плексигласа для обеспечения равномерного распределения яркости

Рис. 4. Участники, занимающиеся чтением, просмотром телевизора, приёмом пищи и отдыхающие при освещении с разными значениями КЦТ

2.4. Методика проведения эксперимента

Был разработан вопросник, в котором участников просили вначале полностью погрузиться в среды с тремя значениями КЦТ, равными 3000, 4000 и 6500 К, и лишь затем оценивать различия между этими сценами. Сцены, соответствующие разным значениям КЦТ, реализовывались в разной последовательности, с тем чтобы исключить любое остаточное или упорядочивающее воздействие за счёт проводившейся пару раз медленной смены сцен. Т.к. исследования проводились с целью определения предпочтений при кратковременной хроматической адаптации, то для того, чтобы глаза участников не успевали полностью адаптироваться к КЦТ, на каждую из сцен отводилось немного времени (примерно 90 с). В случаях обнаружения каких-либо изменений этих трёх сцен участники должны были назвать замеченные различия. Затем участники должны были ответить на вопрос, знают ли они о наличии на рынке изделий с этими КЦТ (1 – не знаю, 2 – знаю). И наконец, участники должны были указать объекты, которые, по их мнению, наиболее подходят для освещения с этими КЦТ.

Затем участники должны были заняться чтением, просмотром телевизора, приёмом пищи и отдыхом при трёх значениях КЦТ и оценить приемлемость КЦТ для выполнения этих действий по шкале: 1 – не подходит, 2 – вроде бы подходит и 3 – подходит. Время, отводившееся на каждое из действий, составляло примерно 10 мин, в течение которых КЦТ изменялась с интервалом примерно 90 с. Участники могли оценивать свои предпочтения в любой момент времени в пределах этих отпущенных на их занятия 10 мин. Для чтения участникам давали журналы. Журналы сочли наиболее подходящими по причине разнообразия способов представления материалов (размеры шрифта, цветные иллюстрации и т.д.). Что касается просмотра телевизора, то участникам показывали видеоклип с национального географического канала. Для приёма пищи участникам были предложены фрукты и закуски. В части отдыха, участники могли расслабляться любым удобным для них образом. На рис. 4 показаны участники, занимающиеся различной деятельностью в экспериментальной комнате.

3. Результаты и анализ

Для применения непараметрических критериев при обработке ответов на вопросы и определении средних оценок, значений показателя p и уровней значимости использовался пакет программ обработки статистических данных для общественных наук (*Statistical Package for Social Sciences* (*SPSS*)). Для расчёта статистической значимости опросов, предполагающих бинарные ответы, использовались Q критерий Кохрена и выраженные в процентах соотношения ответов на вопросы. Во всех остальных

Таблица 3

Средние значения параметров (*M*), их среднеквадратические отклонения (*SD*) и диапазон «минимум-максимум» (*Min-Max*) для трёх КЦТ

	3000 К			4000 К			6500 К		
	M	***SD***	***Min-Max***	***M***	***SD***	***Min-Max***	***M***	***SD***	***Min-Max***
Информированность	1,18	0,388	1–2	1,22	0,418	1–2	1,26	0,443	1–2
Деятельность									
Чтение	1,80	0,756	1–3	2,48	0,677	1–3	2,22	0,815	1–3
Просмотр телевизора	2,26	0,828	1–3	2,24	0,657	1–3	1,78	0,815	1–3
Приём пищи	2,16	0,817	1–3	2,34	0,745	1–3	1,86	0,833	1–3
Отдых	2,44	0,861	1–3	1,84	0,734	1–3	1,66	0,848	1–3

Таблица 4

Процентное соотношение ответов и средние оценки трёх КЦТ

	3000К	**4000К**	**6500К**	***P***	***Q* критерий Кохрена [*df* = 2]**
Информированность (знаю/не знаю),%	82/18	78/22	74/26	0,050	6,00
Деятельность	Средняя оценка				X^2 [*df* = 2]
Чтение	1,45	2,47	2,08	<0,001	51,94
Просмотр телевизора	2,25	2,22	1,53	<0,001	36,87
Приём пищи	2,06	2,33	1,61	<0,001	36,75
Отдых	2,25	2,22	1,53	<0,001	36,87

случаях, предусматривающих больше двух возможных ответов на вопросы, использовались критерий Фридмана и средние оценки. При проведении попарного сравнения трёх КЦТ использовался критерий Уилкоксона. Качественные данные кодировались методом систематического наблюдения, в рамках которого регистрировались результаты тщательного наблюдения одной или нескольких специфических особенностей поведения в конкретных условиях.

Все 50 участников отметили различия между тремя представленными им сценами, причём 30 из них связывали эти различия с цветом, а 20 – с яркостью. Большинство (90 %) из 20 участников, которые связывали замеченные различия сцен с яркостью, относились к группе с годовым доходом 24000 индийских рупий и ниже или к уровню образования, соответствующему среднему и ниже. Описательные и инференциальные статистические данные, полученные применительно к генеральной совокупности, приведены, соответственно, в табл. 3 и 4. В табл. 5 приведены результаты попарного сравнения предпочтений для трёх КЦТ, позволяющие оценить различия между КЦТ. Участники были хорошо осведомлены о наличии на рынке источников света с КЦТ, равной 3000 К, т.к. им соответствовало наибольшее количество положительных ответов. Для чтения и приёма пищи участники предпочли освещение с КЦТ, равной 4000 К, получившее наивысшую среднюю оценку. Хотя при просмотре телевизора и отдыхе участники не заметили никаких различий между 3000 и 4000 К (при их попарном сравнении было получено $p > 0{,}05$), применительно к этим видам деятельности обе эти КЦТ получили одинаково высокие средние оценки. В табл. 6 приведены предпочтительные значения КЦТ для разных реальных областей применения. Все 50 участников посещали по меньшей мере один другой индийский город, тогда как 27 из них ездили за границу. Размер выборки был недостаточно большим, чтобы установить какие-либо статистически значимые зависимости от возраста, пола или социально-экономического статуса.

Хотя большинство участников знали о наличии в Индии светильников с СД с тремя разными КЦТ, 40 % из них не смогли связать эти отличия с качеством цвета освещения. Для целенаправленной деятельности, такой как чтение и приём пищи, наиболее подходящей оказалась КЦТ, равная 3000 К. Большинство участников сочли 4000 К наиболее приемлемыми для таких областей применения, как классные комнаты, офисы, рабочие места и кухни. В то же время, 3000 К сочли наименее подходящими для чтения, а 6500 К – для приёма пищи. Большинство участников сочли 3000 К наиболее приемлемыми для таких областей применения, как рестораны, бары и отели, а 6500 К – наиболее приемлемыми для таких областей применения, как больницы и супермаркеты. Для нецеленаправленной деятельности, такой как просмотр телевизора и отдых, 3000 и 4000 К оказались почти в равной мере предпочтительнее, чем 6500 К. В целом, результаты исследования показали, что 4000 и 6500 К являются, соответственно, наиболее и наи-

Таблица 5

Попарное сравнение предпочтений для трёх КЦТ

Деятельность	3000K – 4000K		3000K – 6500K		4000K – 6500K	
	Z	*p*	*Z*	*p*	*Z*	*p*
Чтение	-5,831	<0,001	-4,583	<0,001	-3,606	<0,001
Просмотр телевизора	-0,277	0,782	-4,899	<0,001	-4,796	<0,001
Приём пищи	-3.000	0.003	-3.873	<0.001	-4.899	<0.001
Отдых	-0.277	0.782	-4.899	<0.001	-4.796	<0.001

менее предпочтительными значениями КЦТ.

4. Обсуждение

Опубликованные результаты предшествующих межкультурных исследований предпочтений в части цветового облика объектов при освещении их светом СД с разными значениями КЦТ весьма противоречивы. Проведённое обследование живущих в США китайских и американских наблюдателей [6] показало, что в случае очень хорошо знакомых объектов (фрукты и овощи) и картин какие-либо культурные различия отсутствовали, тогда как в случае менее знакомых или незнакомых картин была установлена контекстуальная связь с культурными различиями: американские наблюдатели продемонстрировали более широкие отличия. Аналогичное обследование живущих в Германии китайских и европейских наблюдателей [7, 8] показало, что применительно к красноватым объектам китаянки, в отличие от китайцев и европейцев, предпочитают тёпло-белый свет (2700–3500 К). В общем случае для синеватых и разноцветных объектов предпочтительной оказалась КЦТ, равная 4000 К (в ряде случаев 5000 К), причём европейцы не считают тёпло-белый свет (2700–3500 К) предпочтительным для освещения синеватых и разноцветных объектов. Четыре исследования офисного освещения с разными КЦТ, проведённые независимо в Азии [9, 16, 17] и Европе [13], продемонстрировали аналогичные результаты, а именно, что 4000 К гораздо предпочтительнее и комфортнее, чем 3000 и 6500 К. Исследование офисного СД освещения, проведённое с участием живущих в Финляндии африканцев, азиатов и европейцев, показало, что европейцы предпочитают освещение с 4000 К, тогда как предпочтения африканцев и азиатов распределяются между 4000 и 5000 К и зависят от уровня освещённости.

Сопоставление результатов предшествующих межкультурных исследований и результатов, полученных в данной работе, привело к следующим выводам:

- Образовательный и экономический уровень может сказаться на установлении связи воспринимаемых хроматических особенностей освещения с качеством цвета или, более конкретно, с КЦТ. Большинство участников, которые связали различия между тремя продемонстрированными сценами не с цветом, а с яркостью, относились либо к группе со сравнительно низкими доходами, либо к группе со сравнительно низким образованием.
- Путешествия и знакомство с различными культурами могут влиять на предпочтения людей в части КЦТ. То, что в случае приёма пищи предпочтительной оказалась температура 4000 К, тогда как применительно к местам приёма пищи, таких как рестораны и отели, предпочтение было отдано температуре 3000 К, можно объяснить опытом, полученным участниками в путешествиях, и посещением ими высокоуровневых ресторанов, освещённым тёплым светом.

Таблица 6

Значения *КЦТ*, предпочтительные для разных областей применения

КЦТ, К	Объект											
	Классная комната	Сад	Больница	Промышленный объект/Склад	Кухня	Офис/Рабочее место	Храм	Игровая площадка/Стадион	Ресторан/Бар/Отель	Магазин/Торгово-выставочный зал	Улица/Дорожка	Супермаркет
3000	4	23	5	7	9	5	20	6	33	18	20	6
4000	26	3	19	14	19	20	6	6	6	12	3	12
5000	11	9	25	14	11	14	7	18	5	13	11	21

• 4000 К представляется наиболее приемлемым для большинства культур значением КЦТ применительно к обычной офисной деятельности. Предпочтительность 4000 К в случае целенаправленной деятельности, такой как чтение, в определённой степени подтверждает результаты, полученные ранее применительно к освещению офисов [9, 13, 16–19]. Это также может объяснить, почему КЦТ, равная 3000 К, была сочтена неподходящей для офисной деятельности, такой как чтение, т.к. люди связывают эту КЦТ скорее с условиями, предназначенными для нецеленаправленной деятельности, такой как просмотр телевизора и отдых.

• Равное 1000 К различие в КЦТ красновато-жёлто-белого света оказалось незаметным в случае нецеленаправленной деятельности. Неспособность участников указать на какие-либо отличия между 3000 и 4000 К имела место только в случае нецеленаправленной деятельности, такой как просмотр телевизора и отдых.

• Хотя в данной работе не рассматривалось влияние цвета кожи на предпочтения в части КЦТ, этот вопрос, несомненно, заслуживает внимания, особенно учитывая разнообразие цвета кожи жителей Индии. Исследования показали, что люди очень разборчивы в отношении КЦТ, если в качестве объекта наблюдения выступает их кожа [20].

5. Заключение

На основе результатов данного исследования можно сделать два общих вывода. Во-первых, жители Хайдарабада при осуществлении разных видов деятельности, в целом, предпочитают 4000 К. Во-вторых, реализации государственной схемы *UJALA*, предусматривающей распределение СД ламп с по субсидированным ценам, должно предшествовать определение предпочитаемых населением значений КЦТ. Тот факт, что жителям Хайдарабада не очень нравится освещение с КЦТ, равной 6500 К, служит достаточным основанием для того, чтобы не согласиться со схемой *UJALA*. Практическое применение результатов данного исследования включает в себя те области, в которых выбор КЦТ может повлиять на решение войти в здание, что имеет большое значение в случаях торговых предприятий и гостиниц. Результаты данного исследования могут быть использованы в рамках *UJALA* для пересмотра решения раздавать лампы с КЦТ, равной 6500 К. Ответ на животрепещущий вопрос о том, играет ли культура сколь-нибудь существенную роль в предпочтениях людей в части КЦТ, нуждается в проведении дополнительных исследований, которые следует провести в аналогичных условиях в различных индийских городах, увеличив при этом размер выборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CIE17–258 correlated colour temperature [Tcp] [Internet]. e-ILV. [cited 2017 Jul 26]. Available from: http://eilv.cie.co.at/term/258.

2. CIE17–140 chromatic adaptation. e-ILV.

3. *Belmore, S.C., Shevell, S.K.* Very-long-term and short-term chromatic adaptation: Are their influences cumulative? // Vision Res.– 2011. – Vol. 51, No. 3. – P. 262–266. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3025050/pdf/nihms262722.pdf

4. *Fairchild, M.D., Reniff, L.* Time course of chromatic adaptation for color appearance judgements // J. Opt. Soc. Am. A.– 1995. – No. 12. – P. 824–833.

5. *Kuller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., Tonello, G.* The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments // Ergonomics.– 2006. – Vol. 49. – P. 1496–1507.

6. *Liu, A., Tuzikas, A., Žukauskas, A., Vaicekauskas, R., Vitta, P., Shur, M.* Cultural Preferences to Color Quality of Illumination of Different Objects // IEEE Photonics J. –2013– Vol. 5, No. 4. Available from: http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6583259

7. *Bodrogi, P., Khanh, T.Q., Stojanovic, D., Lin, Y.* Intercultural colour temperature preference of Chinese and European subjects living in Germany //Light & Engineering.– 2016. – Vol. 24, No. 1. – P. 8–11.

8. *Бодроги П., Линь Я., Стоянович Д., Хан Т.К.* Цветовые температуры, предпочитаемые проживающими в Германии китайцами и европейцами // Светотехника.– 2016.– № 1. – С. 18–20.

9. *Shamsul, B.M.T., Sia, C.C., Ng, Y.G., Karmegan, K.* Effects of light's colour temperatures on visual comfort level, task performances, and alertness among students // Am.J. Public Heal Res.– 2013. – Vol.1, No. 7. – P. 159–165.

10. *Davis, R.G., Ginthner, D.N.* Correlated color temperature, illuminance level and the Kruithof curve // J. Illum. Eng. Soc.– 1990. – P. 27–38.

11. *Boyce, P.R., Cuttle, C.* Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination // Light Res. Technol.– 1990. – Vol.22, No. 1. – P. 19–36.

12. *Fotios, S.* A Revised Kruithof Graph Based on Empirical Data // LEUKOS. –2017. – Vol. 13, No. 1. – P. 3–17.

13. *Dangol, R., Islam, M., Hyvarinen, M., Bhushal, P, Puolakka, M., Halonen, L.* User acceptance studies for LED office lighting: Preference, naturalness and colourfulness // Light Res. Technol.– 2015. – Vol. 47. – P. 36–53.

14. *Dutta, S.* India headed for top slot in global LED bulb market // The Times of India, 2016 Apr 21. Available from: http://timesofindia.indiatimes.com/business/india-business/India-headed-for-top-slot-in-global-LED-bulb-market/articleshow/51918389.cms

15. CIE17–222 colour rendering index [R] [Internet]. e-ILV. [cited 2017 Jul 26]. Available from: http://eilv.cie.co.at/term/222

16. *Lin, R.F., Chou, C., Wang, Y.T., Tu, H.W.* Effects of LED color temperature on office workers // 2nd Southeast Asian Network of Ergonomics Societies Conf. Langkawi, MALAYSIA, 2012.

17. *Kang, M., Chang, J.D., Yoon, Y, Kim, S.* Determining occupant-friendly lighting environments for the improvement of visual perception // ICSDEC2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction. Fort Worth, TX, USA, 2013. P. 937–944.

18. *Baniya, R.R, Tetri, E., Halonen, L.* A study of preferred illuminance and correlated colour temperature for LED office lighting // Light&Engineering.– 2015. – Vol. 23, No. 1. – P. 39–47.

19. *Банья Р.Р., Тэтри Э., Халонен Л.* Исследование предпочтений по освещённости и коррелированной цветовой температуре в офисном освещении светодиодами // Светотехника.– 2015.– № 4. – С. 53–58.

20. *Quellman, E.M., Boyce, P.R.* The light source color preferences of people of different skin tones // J. Illum. Eng. Soc.– 2002. – Vol. 31. – P. 109–118.

Амардип М. Дугар (Amardeep M. Dugar), *Ph.D. Профессиональный архитектор, основатель и директор компании Lighting Research & Design*

Дашак Агарвал (Dashak Agarwal), *M. Arch. Партнёр-учредитель компании Thea Light Works*

Сличение результатов измерений параметров светильника с СД в испытательных лабораториях

Р.И. БЕЛЯЕВ[1], С.А.БОРОВКОВ[2]

[1] ООО «ВНИСИ», Москва
E-mail: belyaev@vnisi.ru
[2] ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг», Москва
E-mail: info@lbconsulting.ru

Аннотация

Ассоциация «Честная Позиция» в 2015 г. инициировала проект «Соответствие в светотехнике», направленный на обеспечение честной конкуренции среди производителей/поставщиков и официальных дистрибьюторов светильников со светодиодами (СД) посредством информирования участников рынка о фактических технических характеристиках светильников с СД в сопроводительной маркетинговой и технической документации, а также выявления и исключения из оборота контрафактных светильников с СД. В рамках проекта осуществляются закупка образцов светильников и измерение их параметров в аккредитованных лабораториях. Техническим оператором проекта, отвечающим за закупку образцов и взаимодействие с лабораториями, была выбрана компания «Лайтинг Бизнес Консалтинг».

В 2017 г. Ассоциация «Честная Позиция» осуществила широкомасштабные закупки и испытания наиболее продаваемых светильников с СД, для проведения которых были выбраны несколько испытательных лабораторий.

Для обеспечения достоверности и повторяемости результатов испытаний, необходимым условием для включения испытательной лаборатории в список, утверждённый Ассоциацией «Честная Позиция», является проведение сличений результатов проведённых в этой лаборатории измерений фотометрических, колориметрических и электрических параметров светильников.

Ключевые слова: сличения результатов измерений/испытаний, испытательная лаборатория/центр, световой поток, потребляемая мощность, коэффициент мощности, коэффициент пульсации, коррелированная цветовая температура, светильник со светодиодами.

1. Введение

Ассоциация «Честная позиция» была создана в феврале 2015 г. В настоящее время она объединяет 16 производителей и дистрибьюторов. Основными задачами организации являются предотвращение коррупционных практик и незаконного оборота импортных электротехнических изделий на рынке РФ, осуществление мер, направленных на достижение соответствия характеристик электротехнических изделий, представленных на рынке РФ, заявленным параметрам, представление интересов членов Ассоциации в государственных органах и иных организационных структурах [1].

В 2015 г. ассоциация инициировала проект «Соответствие в светотехнике», направленный на обеспечение честной конкуренции среди производителей/поставщиков и официальных дистрибьюторов светильников со светодиодами (СД) посредством информирования участников рынка о соответствии фактических значений технических характеристик светильников с СД указанным в сопроводительной маркетинговой и технической документации значениям, а также на выявление и исключение из оборота контрафактных светильников с СД.

К задачам проекта «Соответствие в светотехнике», в первую очередь, относятся:

- Укрепление доверия потребителей к светодиодной светотехнической продукции.
- Информирование участников рынка о фактических характеристиках продукции, поставляемой на светотехнический рынок РФ.
- Проведение независимых испытаний серийных образцов светильников с СД, реализуемых на территории РФ и стран, членов Евразийского экономического союза.
- Оценка соответствия серийных образцов светильников с СД заявленным техническим характеристикам.
- Исключение из оборота светильников с СД, не соответствующих заявленным техническим характеристикам и/или действующим нормативам и потенциально опасных для жизни и/или безопасности потребителей.

Данная статья содержит анализ результатов, полученных при измерениях параметров одного образца светильника с СД в различных лабораториях. Целью сличений результатов испытаний является оценка лабораторий-участниц на основе экспериментальной проверки повторяемости результатов измерений. В сличениях результатов испытаний добровольно приняли участие пять лабораторий: Испытательный центр

Рис. 1 Светильник с СД *EKF FLP-RS-180–12–4K-LED*

Таблица 1

Параметры светильника с СД *EKF FLP-RS-180–12–4K-LED*, заявленные производителем

Номинальное напряжение питания, В	Частота, Гц	Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм	Номинальная $T_ц$, К
230	50	12	800	4000

Таблица 2

Результаты измерений параметров светильника с СД *EKF FLP-RS-180–12–4K-LED* в базовой лаборатории (ИЦ ООО «ВНИСИ»)

№ п/п	Параметр	Измеренное значение
1	P, Вт	11,2
2	$K_м$	0,89
3	$K_п$,%	3,8
4	$Ф$, лм	714
5	$T_ц$, К	3930

(ИЦ) ООО «ВНИСИ», Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», ООО «НТЦ «Фотометрия», ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина» и ООО «Александровский испытательный центр».

Все российские лаборатории-участники на момент проведения сличений имели действующую аккредитацию в Национальной системе аккредитации «РОСАККРЕДИТАЦИЯ». Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси» на момент проведения сличения результатов измерений имело действующую аккредитацию в Национальной системе аккредитации Республики Беларусь. Для проведения межлабораторных сличений был выбран светильник с СД *EKF FLP-RS-180–12–4K-LED* (рис. 1).

Заявленные производителем характеристики светильника приведены в табл. 1.

ИЦ ООО «ВНИСИ» был выбран в качестве базовой лаборатории для сличения результатов испытаний, т.к. он принимал участие в международных сличениях *IC2013* в рамках международного проекта *IEA 4E SSL* [2–5].

Критерий оценки результатов испытаний δ для каждой лаборатории-участницы рассчитывался по формуле δ = (ИЛ - ВНИСИ) ·100/ВНИСИ [%], где ИЛ – результат, полученный лабораторией-участником, ВНИСИ – результат, полученный базовой лабораторией, и считался удовлетворительным, если отклонение измеренного параметра от значения, измеренного в базовой лаборатории, не превышало 5 %.

Также оценивалось абсолютное отличие измерявшейся величины $|\Delta|$.

Таблица 3

Измерительное оборудование лабораторий-участниц

№ п/п	Параметр	Лаборатория				
		ИЦ ООО «ВНИСИ»	ЦСОТ НАН Беларуси	НТЦ «Фотометрия»	НИИИС им. А.Н. Лодыгина	Александровский испытательный центр
1	P, Вт	*YOKOGAWA WT310*	*AC2000A*	*GW Instek GPM-8212*	*GW Instek GPM-8212*	*Metrix PX 120*
2	$K_м$					
3	$K_п$,%	Эколайт мод. 01	ТКА-ПКМ	Эколайт мод. 01	ТКА-ПКМ	ТКА-ПКМ
4	$Ф$, лм	*RIGO 801*	*SMS10c*	ГФУ-23, ДГ-360	*RIGO 801*	АРФ-8,5
5	$T_ц$, К	ТКА-ВД/02	*CAS140CT*	ТКА-ВД/02	ТКА-ВД/02	ТКА-ВД/02

Таблица 4

Результаты измерений

№ п/п	Параметр	Лаборатория			
		ЦСОТ НАН Беларуси	НТЦ «Фотометрия»	НИИИС им. А.Н. Лодыгина	Александровский испытательный центр
1	P, Вт	11,1	11,2	11,2	11,0
2	$K_м$	0,90	0,90	0,90	0,91
3	$K_п$,%	3,5	3,9	3,7	3,4
4	$Ф$, лм	718	748	718	695
5	$T_ц$, К	3884	3937	3900	3900

Таблица 5

Различие результатов измерений в абсолютных величинах |Δ|:

№ п/п	Лаборатория	|Δ|				
		Различие в *P*, Вт	Различие в $K_м$	Различие в $K_п$,%	Различие в *Ф*, лм	Различие в $T_ц$, К
1	ЦСОТ НАН Беларуси	0,1	0	0,3	4	46
2	НТЦ «Фотометрия»	0,	0,01	0,1	34	7
3	НИИИС им. А.Н. Лодыгина	0	0,01	0,1	4	30
4	Александровский испытательный центр	0,2	0	0,4	19	30

Таблица 6

Различие результатов измерений в относительных величинах *δ*

№ п/п	Лаборатория	*δ*,%				
		Различие в *P*, Вт	Различие в $K_м$	Различие в $K_п$,%	Различие в *Ф*, лм	Различие в $T_ц$, К
1	ЦСОТ НАН Беларуси	-0,9	0,6	-7,9	0,6	-1,2
2	НТЦ «Фотометрия»	0,4	0.7	2,6	4,8	0,2
3	НИИИС им. А.Н. Лодыгина	-0,3	0,8	-2,6	0,6	-0,8
4	Александровский испытательный центр	-1,8	1,9	-10,5	-2,7	-0,8

В рамках проведённых испытаний измерялись следующие параметры:

– Потребляемая мощность *P*, Вт.
– Коэффициент мощности $K_м$.
– Коэффициент пульсации $K_п$,%.
– Световой поток *Ф*, лм.
– Коррелированная цветовая температура $T_ц$, К.

Результаты измерений, проведённых в базовой лаборатории ИЦ ООО «ВНИСИ», приведены в табл. 2.

2. Методика измерений

При измерениях необходимых светотехнических, электрических и спектральных параметров, все лаборатории использовали идентичные методики в соответствии с нормативной документацией, действующей на территории РФ. Для определения значений коэффициента пульсации, коррелированной цветовой температуры и электрических параметров всеми ИЛ-участницами и базовой лабораторией проводились прямые измерения. Для измерения светового потока ИЦ ООО «ВНИСИ» и ООО «НИИИС им. Лодыгина» использовали гониофотометр ближней зоны (ГОСТ Р 54350–2015, п. 10.3.3). Три другие лаборатории-участницы (НТЦ «Фотометрия», Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси» и ООО «Александровский испытательный центр») использовали гониофотометрический метод определения светового потока по измерению силы света (ГОСТ Р 54350–2015, п. 10.3.2). Таким образом, в ходе межлабораторных сличений для определения светового потока исследуемого образца использовались две различные методики и разное измерительное оборудование (табл. 3).

3. Результаты измерений

Результаты измерений, полученные лабораториями-участницами, приведены в табл. 4. Различие результатов измерений в абсолютных и относительных величинах приведены в табл. 5 и 6 соответственно.

Значения коэффициента пульсации, измеренные в ООО «Александровский испытательный центр» и в Государственном предприятии «ЦСОТ НАН Беларуси», выходят за границы отклонения измеренных параметров, прописанных в методике. Но т.к. коэффициент пульсации при данных измерениях по абсолютной величине достаточно мал, то более корректно рассматривать не относительные отклонения от базовых значений параметров *δ*, а различия |*Δ*|, выраженные в абсолютных единицах, которые у всех лабораторий не превышают 0,4 %, что является хорошим результатом для определения коэффициента пульсации.

4. Заключение

Первые проходившие с зарубежным участием (Республика Беларусь) российские межлабораторные сличения результатов испытаний в области светотехники показали подготовленность лабораторий-участников к проведению испытаний по общим программам в рамках одного эксперимента. В то же время, следует отметить, что:

1. Необходима научно и технически обоснованная разработка более подробной программы и методики проведения на постоянной основе сличений светотехнических испытательных центров и лабораторий с учётом погрешностей (неопределённостей) применяемого оборудования и эталонных средств измерений и калибровки в лабораториях участниках. При этом нужно учитывать условия, в которых выполняются измерения, и требования к дополнительному оборудованию испытательных стендов.

2. Регулярность межлабораторных сличений результатов измерений в том числе, с привлечением аккредитованных провайдеров Межлабораторных сличительных испытаний, позволит контролировать точность проводимых измерений и внедрять передовые методы измерений в нормативную документацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://honestposition.ru.
2. Solid State Lighting Annex: Interlaboratory Comparison Test Method. 22.10.2012//http://ssl.iea-4 e.org/files/otherfiles/0000/0059/SSL_Annex_2013_IC_Test_Method_v.1.0.pdf.
3. *Bartsev, A. A., Belyaev, R. I., Stolyarevskaya, R.I.* International Interlaboratory Comparison IC2013 Experience and Participation Results of the VNISI Testing Centre // Light&Engineering. – 2015. – Vol. 23, No. 3. – P. 55–64.
4. *Барцев А.А., Беляев Р.И., Столяревская Р.И.* Международные межлабораторные сличения – 2013 (IC2013). Опыт и результаты участия ИЦ ВНИСИ // Светотехника. – 2015. – № 5. – С. 35–41.
5. Solid State Lighting Annex: Interlaboratory Comparison Final Report» https://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0067/IC2013_Final_Report_final_10.09.2014a.pdf.

Беляев Роман Иванович, *инженер. Окончил МЭИ (2006 г.) и МГГУ им. М.А. Шолохова (2014 г.). Главный метролог Испытательного центра ВНИСИ, представитель Российского национального комитета МКО в Отделении 6 МКО*

Боровков Сергей Александрович. *Окончил МЭИ (1997 г.) и Всероссийскую академию внешней торговли (2000 г.). Генеральный директор ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг», эксперт*

Технология «Violeds UV LED», применяемая в ловушках для насекомых

Компания *Seoul Viosys Co. Ltd.* объявила, что её УФ диоды (УФД) «*Violeds*» уже используются в ловушках для насекомых фармацевтической компании *Yuhan Corp.*

Изделия с этими УФД были впервые запущены в производство летом 2016 г., когда вирус Зика распространился по всему миру. Кроме того, «*Violeds*» использовались НАСА на МКС.

Модификации ловушки

Использование «*Violeds*» в ловушках для насекомых позволило реализовать экологически чистый способ привлечения насекомых, обеспечивающий устранение, в частности, комаров и плодовых мушек, с помощью УФД. Достоинство этой технологии – в безопасности для человека, т.к., наряду с безртутностью конструкции, уровень генерируемого УФ излучения в ней в 500 раз меньше даваемого Солнцем и в 10 раз –люминесцентными лампами.

Верификационные испытания в Республике Корея показали, что возможности «*Violeds*» по привлечению насекомых в 4 раза превышают возможности обычных ловушек.

Кроме того, во Флоридском университете, установили, что по сравнению со стандартными ловушками Центра по контролю и профилактике заболеваний США ловушки с УФД «*Violeds*» более чем в 13 раз привлекательнее для жёлтолихорадочных комаров и более чем в 9 раз – для малярийных комаров. Компания *Seoul Viosys* утверждает, что такие же результаты показали испытания по привлечению насекомых, проведённые совместно учёными из Республики Корея, Вьетнама и Индонезии.

semiconductor-today.com/06.07.2018

Представлен новый способ хранения данных с помощью света и кристаллов соли

Системы хранения данных всё активнее развиваются с каждым годом. Ещё в начале 2000-х объёма *DVD*-дисков вполне хватало для большинства нужд. Затем настала эпоха *Blu-Ray*- и *SSD*-накопителей. Сейчас вовсю ведутся разработки памяти на основе ДНК, но учёные из Австралии предложили нечто новое: они хотят использовать маломощный лазер и нанокристаллы соли.

За новое исследование отвечает команда сразу трёх вузов Австралии: эксперты университетов Южной Австралии, Аделаиды и Нового Южного Уэльса. В основе технологии лежит воздействие маломощным лазером на нанокристаллы соли, обладающие флуоресцентными свойствами. Посредством определённых шаблонов лазер может передавать данные и записывать их. По словам одного из авторов работы, «Флуоресценция нанокристаллов соли может представлять собой перспективную альтернативу традиционным *HDD*-, *SSD*- и *Blu-Ray*-дискам. В ходе экспериментов нам удалось создать оптические структуры для хранения данных в нанокристаллах соли, которые даже невозможно увидеть не-

вооружённым взглядом. Это даёт возможность очень высокой плотности записи».

Более того, новый метод «многослоен», то есть 1 нанокристалл может хранить несколько бит данных, которые, к тому же, являются перезаписываемыми. Технология позволяет использовать маломощные лазеры, что делает её доступной для потребительской электроники. Используя «шаблоны изменения поведения лазера», учёным удалось добиться того, что лазерный луч может как передавать, так и считывать данные, а нанокристаллы соли можно встраивать в пластик, стекло или любой другой материал, придавая им практически любую форму, что делает такие носители информации в перспективе весьма удобными.

hi-news.ru/13.07.2018

Статистические оценки передаточных характеристик, предельных дальностей и скоростей передачи информации по импульсным атмосферным бистатическим оптическим каналам связи

М.В. ТАРАСЕНКОВ[1], Е.С. ПОЗНАХАРЕВ[1,2], В.В. БЕЛОВ[1]

[1] Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск

[2] Томский государственный университет, Томск

E-mail: belov@iao.ru, tmv@iao.ru

Аннотация

На основе алгоритма модифицированной двойной локальной оценки создана программа моделирования методом Монте-Карло импульсных реакций бистатических атмосферных аэрозольно-газовых каналов оптико-электронных систем связи (ОЭСС). Она использована в серии численных экспериментов для статистической оценки передаточных характеристик этих каналов в зависимости от оптических характеристик модельной плоско-параллельной атмосферы на λ = 0,3, 0,5 и 0,9 мкм при метеорологической дальности видимости S_M = 10 и 50 км. Результаты получены для набора базовых расстояний между источником и приёмником до 50 км и угловых ориентаций оптических осей пучка лазерного излучения и приёмной системы в широкой области их значений. Установлены зависимости максимальных значений импульсных реакций загоризонтных каналов ОЭСС от вариаций этих параметров.

Ключевые слова: атмосфера, рассеянное лазерное излучение, бистатическая (загоризонтная) оптическая связь,, предельные базовые расстояния, предельная частота передачи импульсов.

Введение

Беспроводная оптическая связь по атмосферным каналам развивается в двух направлениях: в пределах прямой видимости источника приёмником и вне её. Основное достоинство связи первого типа – высокая скорость передачи данных. Недостатки – прерывание или невозможность её осуществления, связанные с препятствиями на линии распространения информационных сигналов и «беганием пучка» по входному зрачку оптической системы приёмника, обусловленным турбулентными пульсациями оптических характеристик в атмосферном коммуникационном канале. Этих недостатков лишена оптическая связь вне прямой видимости, что позволяет осуществлять её на значительно большие расстояния.

В зарубежной литературе оптико-электронные системы связи (ОЭСС) вне прямой видимости называются ОЭСС «*Non Line-Of-Sight*» («*NLOS*»), а в отечественной – загоризонтными или бистатическими ОЭСС. Работ в российской и зарубежной печати по этим системам гораздо меньше, чем по системам в пределах прямой видимости. При этом из работ [1–7] следует, что загоризонтные ОЭСС можно условно делить на ОЭСС многоадресной оптической связи на коротких и на больших расстояниях.

Первые результаты исследований в ИОА СО РАН некоторых характеристик бистатических каналов ОЭСС опубликованы в статье [5]. Результаты последующих полевых экспериментальных исследований передаточных свойств этих каналов рассмотрены в статьях [6–8]. При этом в [8], в частности, сообщается, что в экспериментах реализована загоризонтная связь при безоблачной атмосфере на расстояниях между источником и приёмником излучения до 70 км и длине волны лазерного излучения λ = 510,6 нм. Для того, чтобы прогнозировать влияние конкретного оптического состояния атмосферы на качество связи и определять оптимальную геометрическую схему её реализации, экспериментальные исследования были нами дополнены теоретическими.

Основные результаты наших предыдущих теоретических исследований опубликованы в статьях [5, 9, 10]. Их целью было моделирование отклика атмосферы как линейной системы на входной дельта-импульс (т.е. определение импульсной реакции или импульсной переходной характеристики $h(t)$) и поиск, используя эту функцию, оптимальных схем связи. В рамках этой задачи в работе [9] предложен и рассмотрен алгоритм модифицированной двойной локальной оценки метода Монте-Карло решения нестационарного уравнения переноса излучения [11]. Идея предложенного нами алгоритма состоит в том, что в отличие от классического алгоритма двойной локальной оценки в нём в каждой точке столкновения делается двойная локальная оценка в каждый возможный временной интервал. Предложенный алгоритм [9] был взят за основу в настоящей работе. В статьях [9, 10] этот алгоритм сравнивается с предложенными другими авторами алгоритмами статистического моделирования функции $h(t)$ – из [12,13]. Используя предложенный алгоритм, нами [14]: 1) выполнен анализ качества атмосферных каналов связи на рассеянном лазерном излучении, когда ось лазерного пучка и оптическая ось приёмника лежат в одной плоскости, перпендикулярной земной поверхности (плоская модель системы атмосфера-земная поверхность) и зенитные углы этих осей составляют 85°; 2) определены предельные дальности связи и предельные скорости передачи информации на λ = 0,5 мкм и заданных характеристиках приёмо-передающей системы; 3) выполнено сравнение передаточных свойств каналов на λ = 0,3, 0,5 и 0,9 мкм.

В настоящей статье рассмотрен более общий случай – когда сняты ограничения на положение в пространстве плоскости, содержащей оси лазерного пучка и приёмной оптической системы, и на значения зенитных углов ориентации этих осей.

Постановка задачи

Известно, что, зная отклик атмосферы как линейной системы на входной дельта-импульс (импульсную реак-

Таблица 1

Оптические параметры приземного (0–0,1 км) слоя атмосферы, используемые в расчётах ($\sigma_{t,\,a}$ – коэффициент аэрозольного ослабления, $\sigma_{s,\,a}$ – коэффициент аэрозольного рассеяния, $\sigma_{t,\,m}$ – коэффициент молекулярного ослабления, $\sigma_{s,\,m}$ – коэффициент молекулярного рассеяния)

λ, мкм	S_M, км	$\sigma_{t,\,a}$, км$^{-1}$	$\sigma_{s,\,a}$, км$^{-1}$	$\sigma_{t,\,m}$, км$^{-1}$	$\sigma_{s,\,m}$, км$^{-1}$
0,3	10	0,661	0,620	0,165	0,140
0,3	50	0,113	0,106	0,165	0,140
0,5	10	0,433	0,410	0,0166	0,0165
0,5	50	0,0739	0,0700	0,0166	0,0165
0,9	10	0,215	0,196	0,137	0,0015
0,9	50	0,0367	0,0334	0,137	0,0015

цию) и входной сигнал, можно определить принимаемый сигнал как интеграл свёртки вида

$$P(t) = S\int_0^{\infty} P_0(t')h(t-t')dt' = S\cdot p(t),$$

где S – площадь приёмной апертуры; $p(t)$ – мощность принимаемого излучения, отнесённая к единице площади приёмной апертуры; $P_0(t)$ – зависимость мощности источника от времени.

Действие атмосферного канала ОЭСС рассматривается как действие линейной системы (предполагаем отсутствие нелинейных эффектов при взаимодействии излучения со средой в канале связи). Определение импульсной реакции атмосферных каналов ОЭСС выполнено в следующей постановке. Рассматривается плоская система атмосфера-земная поверхность без учёта отражения от земной поверхности. Атмосфера является аэрозольно-газовой средой толщиной в 100 км, разделённой на 32 однородных слоя, в пределах каждого из которых заданы оптические параметры аэрозольно-газовой атмосферы. Верхняя граница первого слоя задаётся на высоте 0,1 км от земной поверхности, второго – 0,5 км, а границы слоёв с третьего по двадцать третий имеют шаг в 1 км. Для последующих слоёв толщина слоя постепенно растёт с 2 до 30 км. (Подробнее здесь эти значения не приводятся, так как они слабо влияют на результаты расчётов.)

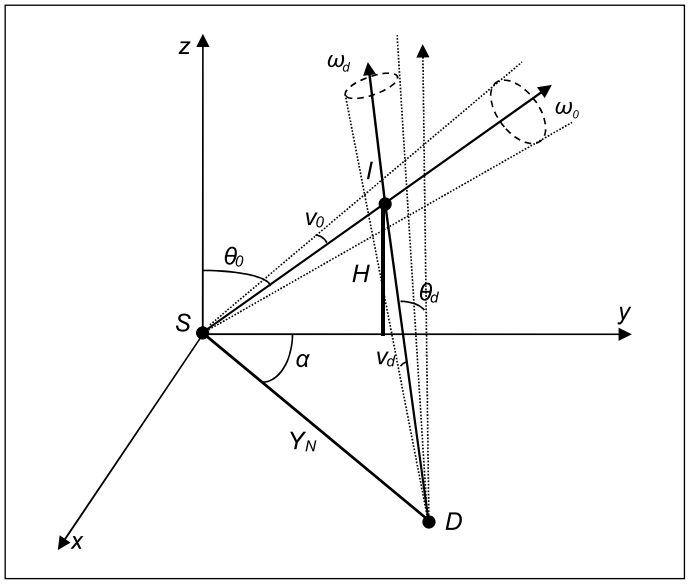


Рис. 1. Геометрическая схема атмосферной бистатической линии связи

Геометрическая схема формирования канала связи приведена на рис. 1. В начале координат (на земной поверхности) располагается точечный источник излучения с координатами (0,0,0) с расходимостью пучка v_0, ориентированный в направлении ω_0 в плоскости Syz, под зенитным углом θ_0. На базовом расстоянии Y_N под углом α от плоскости Syz на земной поверхности располагается приёмная система, оптическая ось которой ориентирована в точку I на оси пучка источника, расположенную на высоте H от поверхности Земли. Зенитный угол оптической оси приёмной системы – θ_d, а угол её поля зрения – v_d.

Пусть требуется определить импульсную реакцию бистатического канала ОЭСС для заданных условий его формирования. При этом плоскость Syz назовём плоскостью источника, а плоскость SID – плоскостью приёмника.

Результаты расчётов

Расчёты по программе на основе алгоритма модифицированной двойной локальной оценки [9] выполнялись при следующих оптико-геометрических условиях: λ = 0,3, 0,5, 0,9 мкм; метеорологические дальности видимости S_M = 10 и 50 км. Оптические параметры безоблачной аэрозольно-газовой атмосферы при указанных S_M задавались генератором оптических моделей на основе программы «*LOWTRAN7*» [15]. Значения оптических коэффициентов для приземного слоя приведены в табл. 1. При этом θ_0 = 0, 45 и 85°; v_0 = 0,0034°; Y_N = 0,5–50 км; α = 0, 10, 30, 60 и 90°; $H = H_{min}$, 0,1, 0,5, 1, 3 и 5 км; v_d = 2°; максимальная длина траектории (без Y_N) l_{max}=200 км. В качестве H_{min} бралась H, при которой θ_d = 85°. Суммарно расчёты выполнялись для 2412 вариантов оптико-геометрических условий. Время расчётов одного варианта существенно зависело от условий расчётов и составляло порядка 40 мин на ЭВМ с производительностью по тесту «*LIN-X 19.5 GFlops*».

Средняя по временным интервалам погрешность полученных результатов расчётов при S_M = 50 км составляла 0,1–6,2 % во всех рассмотренных вариантах, а при S_M = 10 км – 0,1–9 % за исключением вариантов с λ = 0,3 и 0,5 мкм при $Y_N \geq 30$ км, в которых средняя по временным ин-

тервалам погрешность лежит в пределах 0,16–34 %. Иллюстрации некоторых результатов расчёта максимумов импульсных реакций по временным интервалам h_{max} при $H = H_{min}$ приведены на рис. 2.

Выполненный анализ зависимости h_{max} от оптико-геометрических условий показывает, что при небольших базовых расстояниях Y_N (2–3 км) при прочих равных условиях h_{max} максимальна на $\lambda = 0{,}3$ мкм. При больших Y_N и низкой мутности атмосферы ($S_M = 50$ км) h_{max} максимальна на $\lambda = 0{,}5$ мкм. При высокой мутности атмосферы ($S_M = 10$ км) поведение h_{max} сложнее. При небольших α (вблизи 0°) при $Y_N = 2$–10 км h_{max} максимальна на $\lambda = 0{,}5$ мкм, а при $Y_N > 10$ км – на $\lambda = 0{,}9$ мкм (рис. 2, *а*). Однако при $\alpha \geq 10°$ и $Y_N > 2$ км h_{max} максимальна на $\lambda = 0{,}5$ мкм.

Причина такой зависимости значений h_{max} от варьируемых параметров состоит в том, что на $\lambda = 0{,}3$ мкм не только сильнее рассеяние излучения, но и больше, чем на других λ, его ослабление (в основном из-за поглощения озоном), а это при больших Y_N резко снижает мощность принимаемого сигнала. Что касается $\lambda = 0{,}5$ и 0,9 мкм, то на первой λ по сравнению со второй при высокой мутности атмосферы выше роль рассеяния и ослабления и ниже – поглощения (из-за наличия на $\lambda = 0{,}9$ мкм поглощения водяным паром). Это приводит к тому, что для ряда схем при больших Y_N из-за большего влияния ослабления излучения на $\lambda = 0{,}5$ мкм при высокой мутности атмосферы принимаемое излучение оказывается слабее, чем на $\lambda = 0{,}9$ мкм.

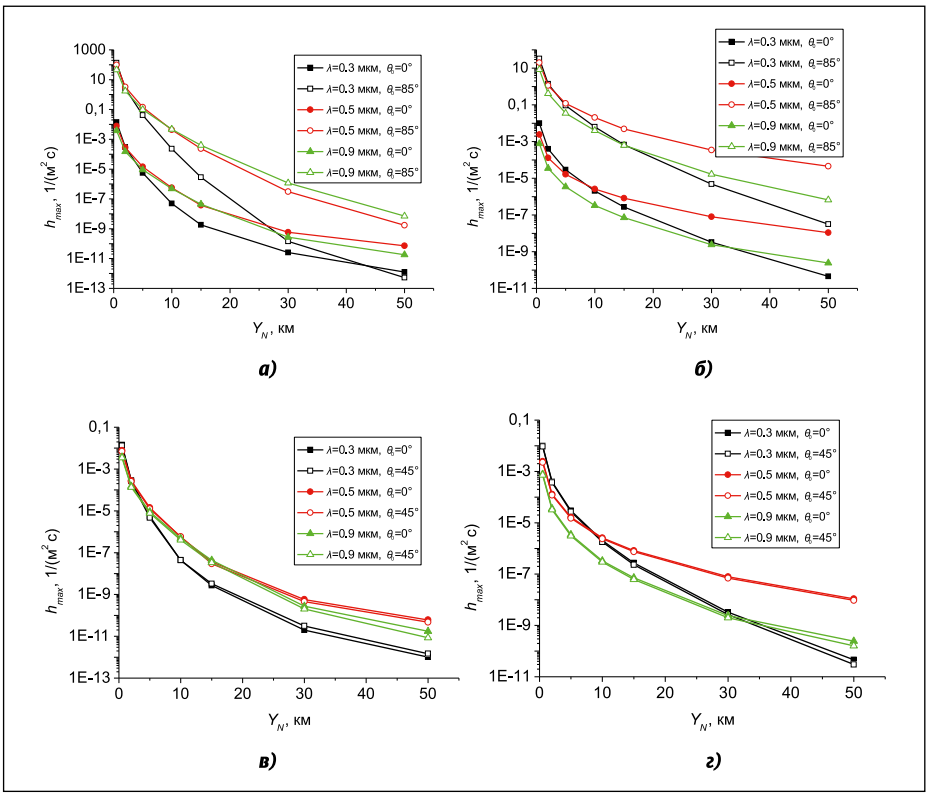


Рис. 2. Максимумы импульсной реакции $h_{max}(Y_N)$ при: $S_M = 10$ км, $\alpha = 0°$, $\theta_d = 85°$ (*а*); $S_M = 50$ км, $\alpha = 0°$, $\theta_d = 85°$ (*б*); $S_M = 10$ км, $\alpha = 60°$, $\theta_d = 85°$ (*в*); $S_M = 50$ км, $\alpha = 60°$, $\theta_d = 85°$ (*г*)

Анализ зависимости h_{max} от S_M показывает, что при небольших Y_N (от 0,5 до 10 км) h_{max} выше при $S_M = 10$ км, а при больших – при $S_M = 50$ км. Это связано с тем, что с ростом роли рассеяния в атмосфере при малых Y_N сигнал растёт, но также растёт и влияние ослабления излучения. Поэтому при больших Y_N ослабление излучения сильнее уменьшает принимаемый сигнал, чем рассеяние излучения его увеличивает.

Анализ зависимости h_{max} от α при фиксированной λ показывает, что с ростом α при прочих равных условиях h_{max} убывает. Это связано с ростом протяжённости трассы, а также с формой индикатрис рассеяния.

Проведённые расчёты также показывают, что при прочих равных условиях h_{max} при $H = H_{min}$ выше, чем при любом $H > H_{min}$. Это связано с тем, что при $H = H_{min}$ длина пути *SID* и углы рассеяния траекторий в среднем минимальны.

Зная характеристики приёмо-передающей аппаратуры и импульсную реакцию атмосферного канала, можно определить предельную дальность линии связи. В качестве соответствующего примера рассмотрим лазер с $\lambda = 0{,}5$ мкм как передающую информационную систему. Предположим, что форма лазерного импульса прямоугольная, его длительность $\Delta t = 30$ нс и средняя мощность в импульсе $P_0 = 18182$ Вт. Пусть в составе идеальной приёмной оптической системы используется усилительный элемент (ФЭУ-17а). За предельную дальность связи при заданных α и θ_0 примем Y_N, при котором уровень мощности принимаемого излучения P совпадает с предельным. За верхнюю оценку P примем максимум P при заданных условиях.

С ростом Y_N значения импульсной реакции меняются в разы, поэтому имеет смысл рассматривать величину отношения P_0 к P, приведённую к децибелам, η [2]:

$$\eta = 10\lg\left(P_0/P\right) = 10\lg\left(\frac{P_0}{pS}\right),$$

где p – мощность принимаемого излучения на единицу площади апертуры, S – площадь апертуры.

Тогда предельным Y_N будет расстояние, при котором

$$\eta > \eta_*,\ \eta_* = 10\lg\left(\frac{P_0}{P_*}\right),$$

где P_* – предельная P_0.

В качестве предельной примем мощность, удовлетворяющую соотношению [16–18]

$$\rho = \frac{F\Sigma_k M}{\sqrt{2e\Delta f[M^2 I_k(1+B) + \frac{2kT}{eR_н}(1+\frac{R_э}{R_н})]}} = 1, \qquad (1)$$

где

$$M = \frac{\Sigma_A}{\Sigma_k},\ \Delta f = \frac{1}{2R_н C_a},$$

$$I_k = \Sigma_k \cdot F + I_{тк} + \Sigma_k \cdot F_ф,$$

$$I_{тк} = j_T \cdot Q, \qquad (2)$$

ρ – отношение сигнал-шум; I_k – среднее значение тока эмиссии фотокатода; F – среднее значение измеряемого светового потока; Σ_k – интегральная чувствительность фотокатода; Σ_A – анодная чувствительность; $R_э$ – эквивалентное шумовое сопротивление; $(1 + B)$ – фактор шума; T – абсолютная температура ФЭУ; M – коэффициент усиления ФЭУ; Δf – полоса частот; $R_н$ – сопротивление нагрузки; C_a – ёмкость между выводом анода и последним каскадом; $F_ф$ – фоновая засветка; $I_{тк}$ – ток термоэмиссии фотокатода; j_T – плотность термотока; Q – площадь фотокатода.

В расчётах использовались следующие значения величин в (1) и (2) [6, 16–21]: Σ_k = 40 мкА/лм [20, С. 134]; Σ_A =10 А/лм [20, С. 134]; $R_н = 10^8$ Ом [18, С. 274]; $C_a = 10^{-11}$ Ф [18, С. 274]; $1 + B = 2{,}5$ [18, С. 274]; $T = 256\ K$ [6]; $R_э = 3{,}5 \cdot 10^6$ Ом [20, С. 161]; $j_T = 10^{-15}$ А/см^2 [16, С. 109]; $Q = 0{,}8$ см^2 [19, С. 46]; $F_ф = 0$ лм.

Как показали выполненные нами ранее оценки [14] для ФЭУ-17а, в рассмотренных нами условиях $F = 2 \cdot 10^{-11}$ лм. Для перевода лм в Вт воспользуемся формулой [21, С. 23]

$$P = \frac{F}{C\nu(\lambda)}$$

где C = 683 лм/Вт, $\nu(\lambda) = 0{,}323$ на $\lambda = 0{,}5$ мкм [21, С. 23].

Отсюда следует, что $\rho = 1$ при $P_* = 9{,}07 \cdot 10^{-14}$ Вт, что отвечает равенству $\eta_* = 173$ дБ.

Отметить, что в настоящей статье рассмотрен частный случай, когда $F_ф = 0$ лм. Случай же наличия солнечного фона будет предметом следующих работ. Алгоритм статистического моделирования фонового излучения разработан и оттестирован нами в рамках работы [22].

Для максимума P и случаев, когда $H = H_{min}$ (что соответствует наилучшим условиям связи по P), было рассчитано отношение η. Для его описания была построена аппроксимация вида

$$\eta(\theta_0, Y_N, \alpha) = \left(\begin{matrix} C_1 + C_2(1-\cos\theta_0) + \\ +C_3|\alpha|(1-\cos\theta_0) \end{matrix}\right)\left(\frac{Y_N}{0{,}5}\right)^{N_0 + C_4\theta_0 + C_5\theta_0|\alpha|}, \qquad (3)$$

где C_1–C_5, N_0 – константы аппроксимации.

Условия применимости формулы (3): $\theta_d = 85°$ ($H = H_{min}$), $-90° < \alpha < 90°$ и $0° < \theta_0 < 85°$ и $Y_N = 0{,}5$–50 км. Значения констант аппроксимации приведены в табл. 2. Абсолютная погрешность аппроксимации при $S_M = 50$ км составляет 0,01–9,06 дБ, а при $S_M = 10$ км – 0,02–12,8 дБ.

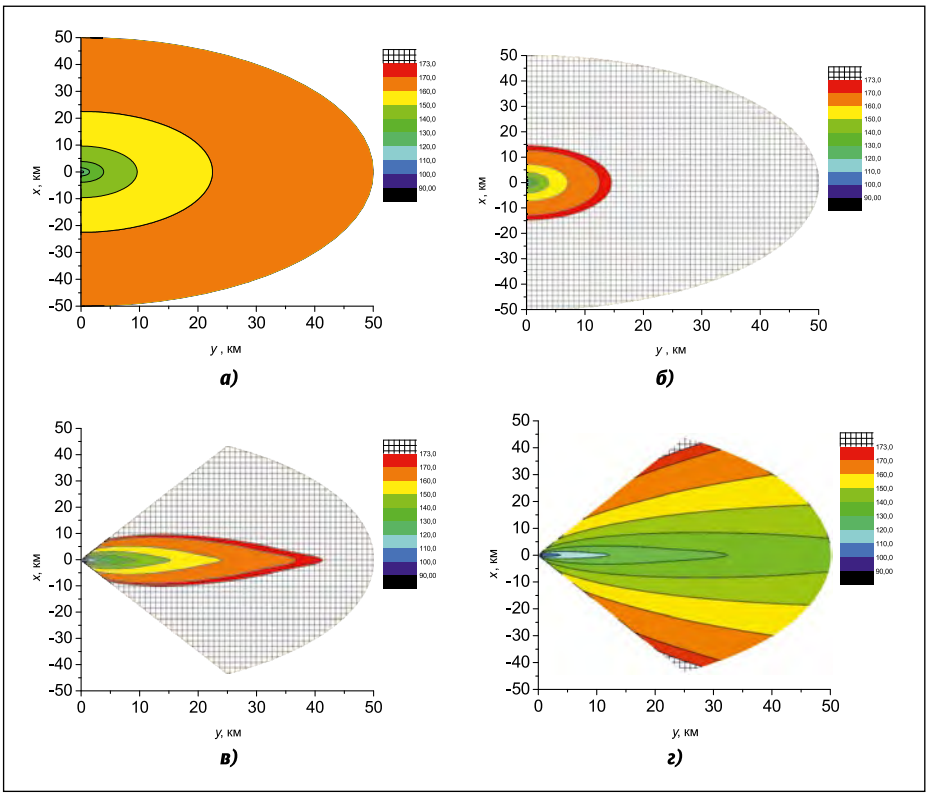


Рис. 3. Зависимость η (x, y) на λ = 0,5 мкм при: S_M = 50 км, θ_0 = 0° (*а*); S_M = 10 км, θ_0 = 0° (*б*); S_M = 50 км, θ_0 = 85° (*в*); S_M = 10 км, θ_0 = 85° (*г*)

Используя аппроксимацию (3), построены зависимости η от расположения приёмной системы и θ_0 для ситуаций, когда $\eta < 173$ дБ (рис. 3). Из рисунка видно, что полученные зависимости полностью согласуются с выводами, полученными для зависимостей h_{max}.

Другой фактор, характеризующий качество канала связи – предельное количество импульсов в единицу времени, которое можно передавать и принимать по каналу связи. С этой характеристикой связана скорость передачи информации. Следуя работе [2], в качестве предельной частоты передачи импульсов ν, которую допускает канал связи, можно принять величину ν_{max}, определяемую неявно как

$$\frac{\left|F\left[P(t)\right](\nu_{max})\right|}{\left|F\left[P(t)\right](0)\right|} = 0{,}5,$$

$$F\left[P(t)\right](\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(t) e^{2\pi i \nu t} dt,$$

где $P(t)$ – распределение мощности принимаемого излучения; F – преобразование Фурье.

Для оптико-геометрических условий и характеристик приёмо-передающей аппаратуры, описанных выше, были вычислены значения ν_{max}. Примеры результатов расчётов приведены на рис. 4, а в табл. 3 приведён диапазон изменения ν_{max} при изменении Y_N от 0,5 до 50 км и различных значениях θ_0 и α.

Таблица 2

Константы аппроксимации для расчёта η

λ, мкм	S_M, км	C_1, дБ	C_2, дБ	C_3, дБ/рад	N_0	C_4	C_5
0,5	10	114	-33,4	35,2	0,109	0,024	-0,016
0,5	50	120	-31,2	31,8	0,076	0,007	-0,003

Таблица 3

Диапазон изменения v_{max}

θ_0	α	v_{max} (0,5)	v_{max} (50)	θ_0	α	v_{max} (0,5)	v_{max} (50)
S_M = 10 км				S_M = 50 км			
0		4,53E+06	7,65E+03	0		4,61E+06	3,29E+04
45	0	1,04E+07	1,71E+04	45	0	1,05E+07	8,58E+04
45	10	1,03E+07	1,82E+04	45	10	1,03E+07	8,34E+04
45	30	9,06E+06	1,28E+04	45	30	9,15E+06	6,88E+04
45	60	6,45E+06	8,48E+03	45	60	6,55E+06	4,34E+04
45	90	4,34E+06	6,15E+03	45	90	4,44E+06	2,77E+04
85	0	1,99E+07	7,22E+04	85	0	1,99E+07	1,09E+06
85	10	1,87E+07	2,14E+04	85	10	1,88E+07	3,88E+05
85	30	1,22E+07	9,15E+03	85	30	1,24E+07	4,95E+04
85	60	2,72E+06	4,43E+03	85	60	2,89E+06	1,07E+04
здесь v_{max} $(A) = v_{max}$ $(A = Y_N)$							

Результаты расчётов показывают, что с ростом Y_N и α v_{max} падает. При небольших Y_N (до 5 км) v_{max} слабо зависит от мутности среды, а при больших Y_N с ростом мутности v_{max} уменьшается в несколько раз. В целом из табл. 3 следует, что при Δt = 30 нс и заданных параметрах приёмо-передающей системы связи v_{max} лежит в пределах от $4 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^7$ Гц.

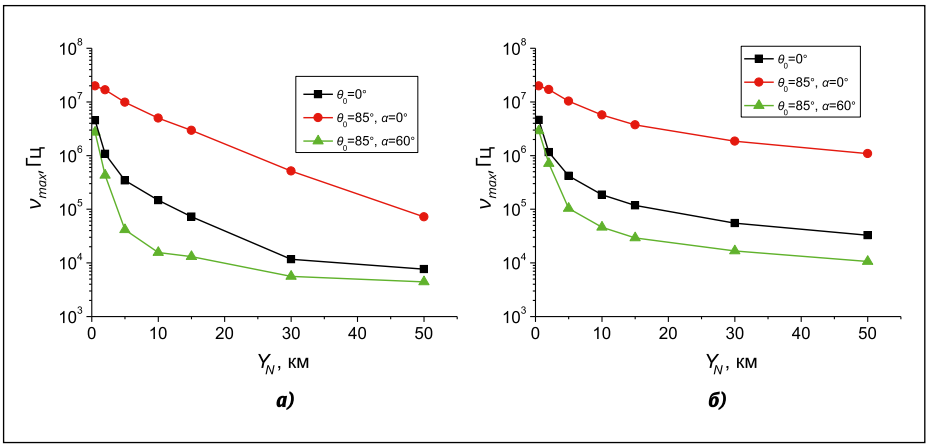


Рис. 4. Зависимость $v_{max}(Y_N)$ при S_M =10 км (*а*) и 50 км (*б*)

Заключение

На основе алгоритма модифицированной двойной локальной оценки [9, 10] создана программа моделирования методом Монте-Карло импульсных реакций бистатических атмосферных аэрозольно-газовых каналов ОЭСС. Она использована в серии численных экспериментов для статистической оценки передаточных характеристик этих каналов в зависимости от оптических характеристик модельной плоско-параллельной атмосферы на λ = 0,3, 0,5 и 0,9 мкм при метеорологической дальности видимости S_M = 10 и 50 км, Результаты получены для набора базовых расстояний между источником и приёмником до 50 км и угловых ориентаций оптических осей лазерного излучения и приёмной системы в широкой области их значений. Установлены зависимости максимальных значений импульсных реакций загоризонтных каналов ОЭСС от вариаций этих параметров.

Осуществлена верхняя оценка предельных частот и дальностей действия модельной оптико-электронной системы связи, которая имитирует уже использованную в полевых экспериментальных исследованиях [7, 8].

Основные выводы из анализа полученных результатов сводятся к следующему: 1) при небольших базовых расстояниях (2–3 км) при прочих равных условиях максимальная мощность принимаемого информационного импульса максимальна на λ = 0,3 мкм; 2) при больших базовых расстояниях и низкой мутности среды (S_M = 50 км) она мо-

жет достигаться на $\lambda = 0{,}5$ мкм; 3) при высокой мутности атмосферы ($S_M = 10$ км) в зависимости от базовых расстояний и ориентации плоскости приёма она уже может достигаться на $\lambda = 0{,}5$ и 0,9 мкм.

Показано, что предельные частоты передачи импульсов для бистатической коммуникационной оптико-электронной системы в зависимости от оптического состояния атмосферы и геометрических параметров схем формирования каналов связи лежат в пределах от $4 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^7$ Гц.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Приоритетного направления II.10, проект II.10.3.3 «Прямые и обратные задачи зондирования атмосферы и земной поверхности, атмосферная коррекция и коммуникационные оптико-электронные системы на рассеянном лазерном излучении».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поллер Б.В., Бритвин А.В., Коломников Ю.Д., Головачев Ю.Г., Коняев С.И., Кусакина А.Е., Шергунова Н.А.* Некоторые характеристики распространения лазерных сигналов в условиях обсерватории СО РАН «Кайтанак» на горном Алтае // Интерэкспо Гео-Сибирь.– 2012. – Т. 2, № 4. – С. 64–68.

2. *Haipeng D., Chen G., Arun K., Sadler B.M., Xu Z.* Modeling of non-line-of-sight ultraviolet scattering channels for communication // IEEE journal on selected areas in communications.– 2009. – Vol. 27, No. 9. – P. 1535–1544.

3. *Han D., Liu Y., Zhang K., Luo P., Zhang M.* Theoretical and experimental research on diversity reception technology in NLOS UV communication system // Optics express.– 2012. – Vol. 20, No. 14. – P. 15833–15842.

4. *Elshimy M.A., Hranilovic S.* Non-line-of-sight single-scatter propagation model for noncoplanar geometries // JOSA A.– 2011. – Vol. 28, No. 3. – P. 420–428.

5. *Борисов Б.Д., Белов В.В.* Влияние погодных условий на параметры короткого лазерного импульса, отражённого атмосферой // Оптика атмосферы и океана.– 2011. – Т. 24, № 04. – С. 263–268.

6. *Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н., Иванов В.В., Федосов А.В., Троицкий В.О., Шиянов Д.В.* Атмосферные бистатические каналы связи с рассеянием. Часть 1. Методы исследования // Оптика атмосферы и океана.– 2013. – Т. 26, № 04. – С. 261–267.

7. *Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н.* Бистатические атмосферные оптико-электронные системы связи (полевые эксперименты) // Письма в ЖТФ.– 2014. – Т. 40, вып. 19. – С. 89–95.

8. *Абрамочкин В.Н., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Кудрявцев А.Н., Тарасенков М.В., Федосов А.В.* Оптико-электронная связь в атмосфере на рассеянном лазерном излучении. Полевые эксперименты // Светотехника.– 2017.– № 4. – С. 24–30.

9. *Белов В.В., Тарасенков М.В.* Три алгоритма статистического моделирования в задачах оптической связи на рассеянном излучении и бистатического зондирования // Оптика атмосферы и океана.– 2016. – Т. 29, № 05. – С. 397–403.

10. *Тарасенков М.В., Белов В.В.* Сравнение трудоёмкости алгоритмов статистического моделирования импульсной реакции канала бистатической лазерной связи на рассеянном излучении и бистатического лазерного зондирования // Вычислительные технологии.– 2017. – Т. 22, № 3. – С. 91–102.

11. *Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А., Каргин Б.А., Елепов Б.С.* Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976.– 284 с.

12. *Lotova G.Z.* Modification of the double local estimate of the Monte Carlo method in radiation transfer theory // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modeling.– 2011. Vol. 26, No. 5. – P. 491–500.

13. *Михайлов Г.А., Лотова Г.З.* Численно-статистическая оценка потока частиц с конечной дисперсией // ДАН.– 2012. – Т. 447, № 1. – С. 18–21.

14. *Тарасенков М.В., Белов В.В., Познахарев Е.С.* Моделирование процесса передачи информации по атмосферным каналам распространения рассеянного лазерного излучения // Оптика атмосферы и океана.– 2017. – Т. 30, № 5. – С. 371–376.

15. *Kneizys F.X., Shettle E.P., Anderson G.P., Abreu L.W., Chetwynd J.H., Selby J.E.A., Clough S.A., Gallery W.O.* User Guide to LOWTRAN-7. ARGL-TR-86–0177. ERP 1010. Hansom AFB. MA 01731, 1988. –137 p.

16. *Анисимова И.И., Глуховской Б.М.* Фотоэлектронные умножители. – М.: Сов. радио, 1974.– 61 с.

17. *Аксененко М.Д., Бараночников М.Л.* Приёмники оптического излучения: справочник. – М.: Радио и связь, 1987.– 296 с.

18. *Соболева Н.А., Меламид А.Е.* Фотоэлектронные приборы. – М.: Высш. школа, 1974.– 376 с.

19. *Васильев А.Ф., Чмутин А.М.* Фотоэлектрические приёмники излучения. – В.: ВолГУ, 2010.– 81 с.

20. *Чечик Н.О., Файнштейн С.М., Лифшиц Т.М.* Электронные умножители / Под ред. Д.В. Зернова. – М.: ГИТТЛ, 1957.– 576 с.

21. *Гуревич М.М.* Фотометрия (теория, методы и приборы). – Л.: Энергоатомиздат, 1983.– 272 с.

22. *Белов В.В., Тарасенков М.В., Пискунов К.П.* Параметрическая модель солнечной дымки в видимой и УФ-области спектра // Оптика атмосферы и океана.– 2010. – Т. 23, № 04. – С. 294–297.

Тарасенков Михаил Викторович, *кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 2007 г. Томский государственный университет (ТГУ). Старший научный сотрудник Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Область научных интересов: анализ закономерностей формирования изображений через атмосферу, атмосферная коррекция изображений в видимом и УФ диапазонах излучения, теоретические исследования по каналам связи вне прямой видимости*

Познахарев Егор Сергеевич, *студент ТГУ. Инженер Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Область научных интересов: теоретические и экспериментальные исследования по каналам связи вне прямой видимости*

Белов Владимир Васильевич, *доктор физ.-мат. наук, профессор. Окончил в 1971 г. ТГУ. Зав. лабораторией РОС Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов: теория переноса оптического излучения в рассеивающих и поглощающих средах, теория лазерного зондирования, теория видения, атмосферная коррекция аэрокосмических изображений земной поверхности, метод Монте-Карло, многократное рассеяние*

Особенности выбора источников света для биолого-технических систем жизнеобеспечения космического назначения

А.А. ТИХОМИРОВ, С.А. УШАКОВА, В.Н. ШИХОВ

Институт биофизики СО РАН, Красноярск
E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru

Аннотация

Рассмотрены исторические аспекты и перспективы использования источников искусственного света в биолого-технических системах жизнеобеспечения космического назначения. Согласно приведённым данным, наиболее перспективны для таких систем – светодиодные источники света. На основании результатов фотобиологических исследований показано, что по продуктивности растений, культивируемых в системе жизнеобеспечения, излучение, воспринимаемое человеком как белое, по своей спектральной эффективности недостоверно отличается от излучения, спектрально подобного усреднённой кривой спектра действия фотосинтеза зелёного листа (т.н. «фитоспектра»). В соответствии с этим обосновываются возможности выбора либо фитоспектра, либо спектра, близкого к равноэнергетическому, для культивирования растений в системах жизнеобеспечения.

Ключевые слова: источники света, спектральный состав света, светодиоды, системы жизнеобеспечения.

1. Введение

Активные исследования по созданию биолого-технических систем жизнеобеспечения (БТСЖО) начались в 60-х годах после первого полёта человека в космос и продолжаются в настоящее время в России, США, КНР, ЕС, Японии и др. странах. Фактически во всех созданных БТСЖО предусмотрено использование искусственного освещения, большая часть которого в энергетическом отношении используется в качестве светового питания для функционирования фототрофного звена, которое обеспечивает человека растительной пищей, водой, регенерирует атмосферу и участвует в вовлечении в круговоротный процесс органических отходов.

Первые реально действующие БТСЖО с человеком были созданы в Физическом институте АН СССР в середине 60-х годов. В первой такой системе («БИОС-1») в качестве источника воды и регенератора атмосферы для человека использовалась хлорелла [1]. Источником света для таких систем была выбрана ксеноновая лампа с водяным охлаждением ДКсТВ-6000 [2]. Причиной выбора этого источника в основном являлись его: 1) большой поток излучения в области фотосинтетически активной радиации (ФАР), обусловливающий высокую фотосинтетическую активность (в данном случае хлореллы) в продуцировании кислорода для человека и утилизации углекислого газа, выделяющегося при его дыхании; 2) спектральный состав ФАР, подобный солнечному, благоприятствующий фотосинтезу хлореллы; 3) высокая экологичность конструкции (разрушение лампы никаких токсичных веществ в БТСЖО не добавляет); 4) удобство эксплуатации (при большом потоке излучения в области ФАР лампа достаточно компактна, и потому несколько ламп этого типа легко вписываются во внутреннее пространство культиваторов для растений (в данном случае хлореллы)). Практика использования ламп ДКсТВ-6000 в «БИОС-1» оказалась настолько успешной, что в следующей, более совершенной системе «БИОС-2», содержащей и хлореллу, и высшие растения (пшеницу и ряд овощных культур), также использовали лампы этого типа. При этом эти растения, культивируемые под светом данных ламп, давали хорошие показатели роста, развития и продуктивности. На основании этих результатов лампы ДКсТВ-6000 в дальнейшем использовались при создании полномасштабной замкнутой экосистемы «БИОС-3» (для культивирования как хлореллы, так и целого набора зерновых, масличных и овощных культур, обеспечивающих полноценную растительную диету человека). Излучение ламп ДКсТВ-6000, близкое по относительному спектру в видимой области к солнечному, обеспечивало высокий уровень продуктивности широкого набора культурных растений [3]. Примерно тогда же предпринимались попытки создания БТСЖО с человеком в ИМБП МЗ СССР (ныне ГНЦ РФ – ИМБП РАН). В качестве источников света в таких системах вначале использовали ЛН с водяным охлаждением, а позднее ксеноновые лампы [4]. Эти исследования не получили дальнейшего развития, так как Институт сосредоточился, в основном, на исследовании медико-биологических проблем по обеспечению полётов человека в условиях микрогравитации. В 90-х годах системы жизнеобеспечения с человеком были созданы и протестированы в США. Так, в Космическом центре им. Кеннеди [5] в 1988–2000 годах, в рамках программы *NASA*, функционировала специальная камера («*NASA's Biomass Production Chamber*»), в которой культивировали различные виды высших растений, как основы фотосинтезирующего звена замкнутой экосистемы [6, 7]. В этих исследованиях для культивирования растений использовали МГЛ с излучением белого цвета и НЛВД. В дальнейшем в этой организации велись также исследования по обоснованию возможности использования сине-красного излучения в системах жизнеобеспечения [8]. Фактически тогда же в Хьюстонском космическом центре им. Л. Джонсона [9] проводились исследования по созданию БТСЖО с человеком при использовании высших растений. Для выращивания растений пшеницы использовали МГЛ с излучением, воспринимаемым глазом как белое, а для выращивания салата – светодиоды, дающие комбинированное излучение в синей и красной областях спектра [10].

В то же самое время в Японии была создана БТСЖО, в которой для культивирования растений использовали или искусственное, или естественное, или смешанное освещение. В ряде «компартментов» этой системы использовали только искусственный свет, создаваемый НЛВД [11].

За последние несколько лет созданы новые современные БТСЖО в Пекине и Шеньджене (КНР). Обе эти системы оснащены облучателями со светоди-

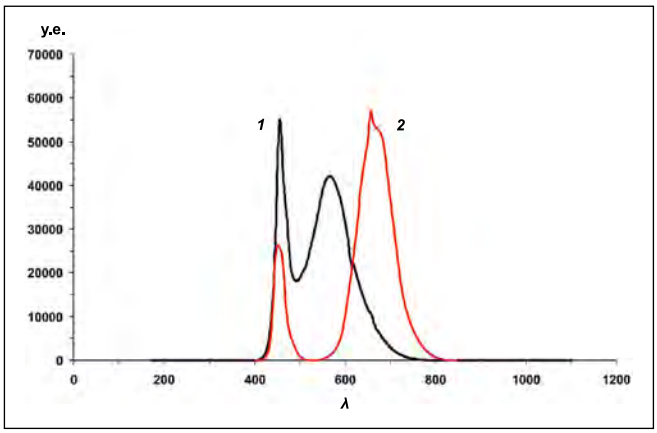


Рис. 1. Относительные спектры излучения облучателей, дающих белое (*1*) и сине-красное /фитоспектр/ (*2*) излучение

одами, дающими комбинацию сине–красного и белого излучения, для культивирования растений [12, 13].

Несмотря на то, что перспективы использования светодиодных ламп в будущих БТСЖО не вызывают возражений, тем не менее до сих пор нет чёткого представления о том, каким должен быть спектр излучения таких ламп в условиях БТСЖО. Первые попытки использования светодиодных ламп применительно к БТСЖО были предприняты на рубеже 80–90-х годов, когда первые образцы облучателей с красными светодиодами были протестированы на растениях на предмет использования в БТСЖО [14, 15]. Однако эти попытки не получили распространения, поскольку первые образцы светодиодов давали слишком слабое, и фактически только красное, излучение, не обеспечивавшее полноценное протекание продукционного процесса у различных видов растений. Дальнейший прогресс в совершенствовании облучательной техники со светодиодами, в первую очередь связанный с созданием синих светодиодов, позволил создавать облучатели со светодиодами с практически неограниченными возможностями варьирования спектра видимого излучения. Распространённая среди ряда светотехников и растениеводов точка зрения о высокой спектральной эффективности излучения, по структуре спектра подобного спектрам действия фотосинтеза зелёного листа [16, 17], привела к тому, что светотехническая промышленность стала серийно выпускать облучатели, дающие сине-красное излучение (так называемый «фитоспектр»). Опыт использования таких облучателей для культивирования растений показал, что не всегда светодиоды с фитоспектром обеспечивают более высокую продуктивность растений, чем светодиоды белого света – нередко получаются сопоставимые по продуктивности результаты. В частности, такие разультаты получены на салате [18].

Чтобы выяснить, насколько такой вывод может касаться других культур, входящих в основной ассортимент фототрофного звена БТСЖО, нами были выполнены эксперименты по культивированию пшеницы линии 232, чуфы и редиса в терморегулируемых герметичных вегетационных камерах с облучателями со светодиодами, дающими белый и сине-красный спектры излучения.

2. Методика эксперимента

Растения выращивали методом гидропоники с использованием стандартных питательных растворов (среда Кнопа с добавками цитрата железа и микроэлементов). Температура воздуха в камерах поддерживалась в пределах (23 ± 1) ºС. Выбранные виды растений ранее долго и успешно культивировали в замкнутой экосистеме «БИОС-3» [3]. Для проведения экспериментов использовали светильники компании ООО «Лед-Энергосервис» (торговый знак «Оптоган»), дающие излучение, воспринимаемое глазом как белое, и светильники, дающие преимущественно сине-красное излучение (рис. 1). Плотность фотосинтетического фотонного потока для редиса равнялась 750 мкмоль/(м^2·с), а для более светолюбивых культур (пшеница, чуфа) – 1000 мкмоль/(м^2·с). В радиометрических измерениях использовался квантометр «*LI-250A*» (*LiCOR*, США). Спектры излучения используемых облучателей (рис. 1) измерялись посредством спектрометра «*AvaSpec-ULS2048-USB2*» (*Avantes*, Нидерланды). Более детально методика и способ культивирования растений изложены в статьях [19, 20].

3. Результаты эксперимента и их обсуждение

Полученные результаты (рис. 2) показывают, что различия в продукционных характеристиках исследованных видов растений лежат в пределах ошибки измерений. Подобный же вывод получен для салата в работе [18].

Многолетние исследования по оценке спектральной эффективности излучения в продукционном процессе, выполненные в Институте биофизики СО РАН [21], показали, что правильный подбор уровней облучения при спектре излучения в области ФАР, близком к равноэнергетическому, позволяет стабильно иметь высокую продуктивность фактически всех видов культурных растений, используемых в БТСЖО [3]. Что касается достижения потенциально возможных продуктивностей растений, то оно возможно при определённых отклонениях от равноэнергетичности спектра излучения. Кроме того, надо учитывать, что при культивировании ключевых для формирования растительной диеты человека видов растений для достижения высоких продуктивностей необходимы весьма высокие облучённости в области ФАР. При этом фитоценозы должны обладать высокой оптической плотностью (большим листовым индексом) [22]. Эти обстоятельства могут существенно влиять на сдвиг спектральной эффективности излучения из красной области спектра в более коротковолновую часть области ФАР [23, 24]. При этом возникает определённая зависимость между спектром излучения и видом растений [21, 22].

Важно также отметить, что при работе в световой среде, создаваемой светодиодами с сильным отличием излучения от белого, у обслуживающего персонала может быстро утомляться зрение, искажаться цветовосприятие и возникать ощущение дискомфорта. Это подтверждается данными о том, что источники света с достаточно большой синей составляющей спектра ФАР могут оказывать весьма вредное воздействие на структуру глаза человека и его физиологическое состояние в целом. В частности, этому вопросу посвящена статья [25], в которой подчёркивается, что этот недостаток характерен для светодиодов с до-

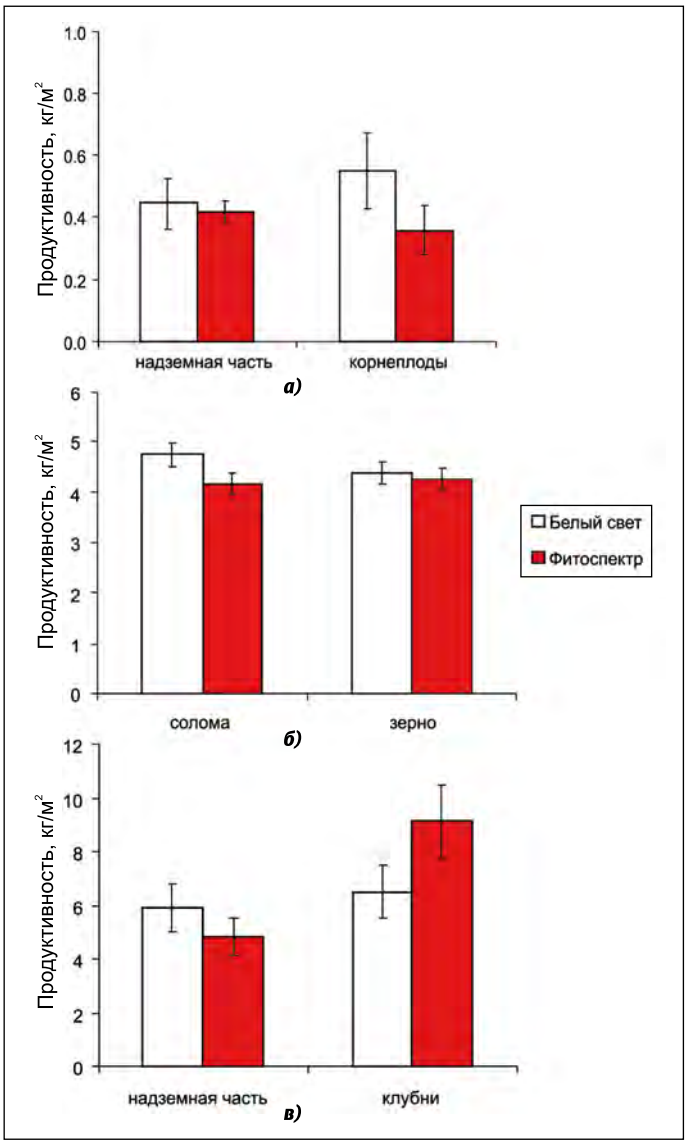


Рис. 2. Продуктивность растений при использовании облучателей со светодиодами разного спектра излучения: *а* – редис; *б* – пшеница; *в*-чуфа

лей синего излучения порядка 30 % и более. К сожалению, многие современные облучатели со светодиодами, относящиеся к так называемым «фитолампам», имеют в видимой области спектра синюю долю как раз около 30 % и более, что, вероятно, позволяет отнести их к роду изделий с повышенным риском негативного воздействия на глаз человека.

И хотя для получения детальных представлений о механизмах, лежащих в основе данного «негатива», требуются специальные дополнительные исследования, для нас пока очевидно, что для человека он весьма нежелателен, а для обитателей БТСЖО, которые могут находиться в изоляции вне земных условий, и вовсе недопустим. Поэтому при использовании облучателей со светодиодами в БТСЖО целесообразно ориентироваться на близкий к равноэнергетическому спектр их излучения. В этом случае решаются две важные задачи по созданию световой среды для растений и человека: обеспечивается высокая продуктивность растений и устраняется отрицательное воздействие видимого излучения на глаз человека. Вероятно, поэтому сейчас заметна тенденция «ухода» от световой среды, создаваемой в БТСЖО облучателями со светодиодами сине-красного излучения. В частности, сине-красное излучение в этом случае «разбавляют» путём смешивания его с белым [12, 13, 26].

4. Заключение

На сегодня несомненным приоритетом в использовании в БТСЖО обладают облучатели со светодиодами. Подбор спектра излучения таких облучателей должен представлять собой компромисс между требованиями к спектральной эффективности излучения для культивируемых в БТСЖО ценозов разных видов растений и к созданию комфортной световой среды для глаза человека. Соответственно, предпочтение следует отдавать облучателям со светодиодами, дающим излучение, близкое к белому.

Исследование по эффективности облучателей со светодиодами для культивирования пшеницы, редиса и чуфы выполнено в Институте биофизики СО РАН при поддержке Российского научного фонда (проект № 14–14–00599П), а остальные результаты соответствуют теме госзадания VI.56.1.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gitelson J.I., Lisovsky G.M., McElroy R.D.,* Manmade Closed Ecological Systems. – New York: Taylor and Francis, 2003.

2. *Маршак И.С., Васильев В.И., Тохадзе И.А.* Малогабаритная безбалластная трубчатая ксеноновая лампа с водяным охлаждением // Светотехника. – 1963.– № 11. – С. 13–17.

3. Замкнутая система: человек – высшие растения / Под ред. Г.М. Лисовского. – Новосибирск: Наука, 1979. – 160 с.

4. *Божко А.Н., Вильямс М.В., Алёхина Т.Г., Машинский А.Л.* Особенности химического состава зеленных растений при длительном культивировании на ионитном субстрате в обитаемой гермокабине / Космическая биология и авиакосмическая медицина. – М.: Наука, 1972. – С. 168–173.

5. URL: https://www.kennedyspacecenter.com (дата обращения: 11.04.2018).

6. *Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Stutte G.W., Yorio N.C., Ruffe L.M., Sager J.C., Prince R.P., Knott W.M.* Crop productivities and radiation use efficiencies for bioregenerative life support // Advances in Space Research. – 2008. – Vol. 41, No. 5. – P. 706–713.

7. *Raymond M. Wheeler*. Agriculture for Space: People and Places Paving the Way // Open Agriculture.– 2017. – No.2. – P. 14–32.

8. *Schuerger A.C., Copenhaver K.L., Lewis D., Kincaid R., May G.* Canopy structure and imaging geometry may create unique problems during spectral reflectance measurements of crop canopies in bioregenerative advanced life support systems // International Journal of Astrobiology.– 2007. – Vol. 6, No. 2. – P. 109–121.

9. URL: http://www.nasa.gov/centers/johnson/home/ (дата обращения: 16.04.2018).

10. URL: http://www.agrospaceconference.com/wp-content/uploads/2016/06/Barta-The-Lunar-Mars-Life-Support-Test-Project.pdf (дата обращения: 14.06.2018).

11. *Tako Y., Arai R., Tsuga S., Komatsubara O., Masuda T., Nozoe S., Nitta K.*. CEEF: Closed Ecology Experiment Facilities. Gravitation and Space Biol.– 2010. – Vol. 23, No. 2. – P. 13–24.

12. *Dong C., Fu Y., Liu G., Liu H.* Growth photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations // J. Agronomy and Crop Sci.– 2014. – Vol. 200. – P. 219–230.

13. URL: http://english.cctv.com/2016/12/14/VIDEvMLAnbgqUGqAdZnis9lU161214.shtml (дата обращения: 11.04.2018).

14. *Bula R.J., Morrow R.C., Tibbitts T.W., Barta D.J., Ignatius R.W., Martin T.S.* Light-emitting diodes as a radiation source for plants // HortScience.– 1991. – Vol. 26. – P. 203–205.

15. *Barta D.J., Tibbitts T.W., Bula R.J., Morrow R.C.* Evaluation of light emitting diodes characteristics for a space-based plant irradiation source // Advances in Space Research.– 1992. – Vol. 12, No.5. – P. 141–149.

16. *Brown C.S., Schuerger, A.C., Sager, J.C.* Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting // J. Am. Soc. Hortic. Sci.– 1995. – Vol. 120. – P. 808–813.

17. ОСТ 46.140–83 Минсельхоза СССР. «Излучение оптическое. Оценка фотосинтезной эффективности. Термины и определения». – М.: МСХ СССР, 1983.

18. *Lina Kuan-Hung, Huangb Meng-Yuan, Huangc Wen-Dar, Hsuc Ming-Huang, Yangd Zhi-Wei, Yang Chi-Ming* The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata) // Scientia Horticulturae.– 2013. – Vol. 150. – P. 86–91.

19. *Shklavtsova E.S., Ushakova S.A., Shikhov V.N., Anishchenko O.V.* Effects of mineral nutrition conditions on heat tolerance of chufa (Cyperus esculentus L.;) plant communities to super optimal air temperatures in the BTLSS // Advances in Space Research.– 2014. – Vol. 54. – P. 1135–1145.

20. *Карначук Р.А., Вайшля О.Б., Дорофеев В.Ю., Ушакова С.А., Тихомиров А.А., Лассер Х., Гро Ж.-Б.* Влияние условий выращивания на гормональный статус и урожайность высокорослой и карликовой линий пшеницы // Физиология растений.– 2003. – Т. 50, № 2. – С. 265–270

21. *Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я.* Спектральный состав света и продуктивность растений. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991.– 168 с.

22. *Тихомиров А.А.* Фитоценоз как биологический приёмник оптического излучения // Светотехника.– 1998.– № 4. – С. 22–24.

23. *Тихомиров А.А., Золотухин И.Г., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я., Лисовский Г.М., Прикупец Л.Б.* Способ выращивания огурца / Авт. свид. № 1620062 СССР. 1991. Бюл. № 2.

24. *Тихомиров А.А., Золотухин И.Г., Прикупец Л.Б., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я., Сарычев Г.С.* Способ выращивания томатов / Авт. свид. № 1754021 СССР. 1992. Бюл. № 30.

25. *Дейнего В.Н., Капцов В.А., Балашевич Л.И., Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., Кошиц И.Н.* Профилактика глазных заболеваний: Светобиологическая безопасность и гигиена энергосберегающих источников света. Аналитический обзор // Глаз.– 2016. – Т. 107, № 1. – С. 18–33.

26. *Fu Y., Li L., Xie B., Dong C., Wang M., Jia B., Sho L., Dong Y., Deng S., Liu H., Liu G., Liu B., Hu D., and Liu H.* How to establish a bioregenerative life support system for long-term crewed missions to the Moon and Mars // Astrobiology.– 2016. – DOI: 10.1089/ast.2016.1477.

Тихомиров Александр Аполлинарьевич, *доктор биол. наук, профессор. Окончил в 1970 г. Красноярский государственный университет по специальности «Физика», физик-биофизик. Зав. лабораторией управления биосинтезом фототрофов Института биофизики СО РАН и зав. кафедрой «Замкнутые экосистемы» Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева. Область научных интересов: фитоактинометрия, светофизиология растений, замкнутые экосистемы*

Ушакова Софья Аврумовна, *кандидат биол. наук. Окончила в 1968 г. Новосибирский государственный университет по специальности «Физика», физик-биофизик. Ведущий научный сотрудник лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики СО РАН. Область научных интересов: фотосинтез и продуктивность высших растений как компонента искусственных экосистем, устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды*

Шихов Валентин Николаевич, *кандидат биол. наук. Окончил в 1997 г. Красноярский государственный университет по специальности «Физика», биофизик. Научный сотрудник лаборатории управления биосинтезом фототрофов Института биофизики СО РАН. Область научных интересов: биофизика фотосинтеза, флуоресценция хлорофилла, возрастная физиология растений, стрессовые реакции у высших растений*

Новая групповая система аварийного освещения «*DIALOG 24*»

Сегодня рынок аварийного освещения всё больше сдвигается в сторону проектных решений. В крупных проектах применение систем централизованного питания экономически более оправдано по сравнению с автономными аварийными светильниками. Растущий спрос на централизованные системы «*DIALOG*» и уже реализованные компанией «Световые Технологии» проекты показывают, что такие системы перестали быть экзотикой для российского рынка.

Следуя спросу, компания в июле 2018 г. выводит на рынок новую систему централизованного питания, рассчитанную на светильники с низким напряжением питания (24 В) и общую нагрузку до 400 Вт. Такие решения оправданы для небольших объектов, таких как магазины, парковки, детские сады. За счёт того, что в такой системе аккумуляторная установка содержит всего два аккумулятора, её стоимость ниже, чем систем, рассчитанных на напряжение питания 230 В. Данная система имеет преимущества и с точки зрения электробезопасности, т.к. подаёт низкое напряжение, что востребовано, например, в детских дошкольных учреждениях.

Система «*DIALOG 24*», рассчитанная на 400 Вт подключаемой нагрузки, состоит из компактного шкафа, в котором установлены аккумуляторы, управляющий контроллер, зарядное устройство, аппараты защиты. Шкаф рассчитан на управление тремя группами светильников, в каждой из которых может быть до 20 аварийных светильников.

Для подключения к данной системе компания «Световые Технологии» предлагает и сами аварийные светильники, рассчитанные на работу от постоянного напряжения 24 В.

ltcompany.com
16.07.2018

Гиперспектрометр на основе перестраиваемых акустооптических фильтров для БПЛА

В.Э. ПОЖАР[1,2], А.С. МАЧИХИН[1,3], М.И. ГАПОНОВ[2], С.В. ШИРОКОВ[1], М.М. МАЗУР[4], А.Е. ШЕРЫШЕВ[5],

[1]НТЦ УП РАН, Москва, Россия; [2]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия; [3]НИУ «МЭИ», Москва, Россия; [4]ВНИИФТРИ, Менделеево, Московская область, Россия; [5]НИУ «МАИ», Москва, Россия. E-mail: vitold@ntcup.ru

Аннотация

Рассмотрена проблема создания гиперспектральной оптико-электронной системы для наблюдения природных и искусственных объектов с борта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Описаны структура и состав системы, решающей эту задачу, основанной на акустооптических фильтрах, и представлены результаты лабораторного тестирования гиперспектрометра.

Ключевые слова: гиперспектральная съёмка, акустооптические перестраиваемые фильтры, дистанционное зондирование

Введение

Гиперспектральные системы (ГС), обеспечивающие одновременную регистрацию спектральных данных и их пространственного распределения, имеют высокий потенциал применения в области мониторинга земной поверхности, природных ресурсов и хозяйственной деятельности [1,2]. В настоящее время всё большую ценность приобретают системы и методы, способные обеспечить получение оптической информации из определённого места в конкретное время. Для регулярного и оперативного мониторинга участков земли наиболее эффективно расположение регистрирующей системы на летательных аппаратах. Использование малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для базирования гиперспектрометра увеличивает мобильность системы и позволяет получать данные более оперативно [3,4].

К настоящему времени разработаны разнообразные схемы и конструкции гиперспектральных изображающих систем. По принципу спектральной селекции в них можно выделить два больших класса: 1) системы с пространственным разложением спектра и 2) системы, имеющие в своём составе перестраиваемый по длинам волн оптический фильтр (монохроматор). Однако разработанные системы пока не соответствуют в должной мере всем требованиям, предъявляемым к приборам для БПЛА. Эти требования могут условно быть разделены на несколько групп: физические (регистрация изображений в широком спектральном диапазоне с большим числом пространственно разрешимых элементов в кадре по двум координатам с минимальным уровнем аберраций), конструктивные (достаточно малые габариты и энергопотребление, устойчивость к внешним воздействиям) и методические (возможность получения информации об исследуемых объектах в реальном времени).

Подход, основанный на пространственном разложении спектра, труднореализуем на платформе БПЛА, так как требует равномерного прямолинейного движения, а потому для таких аппаратов предпочтительнее перестраиваемый монохроматор, способный регистрировать спектрально контрастные изображения объектов. Для оперативного принятия решения о дальнейших действиях системы, в частности о траектории движения БПЛА, необходимы методы экспресс-анализа поступающей оптической информации. Особенно эффективными могут стать средства выборочной регистрации спектральных данных, которые реализуемы на основе акустооптических (АО) перестраиваемых фильтров [5], обеспечивающих быстрый и произвольный спектральный доступ, что позволяет производить гибкий отбор по спектру регистрируемой информации. Ниже описаны состав и структура ГС, особенности и характеристики его ключевого элемента (АО фильтра), принципы его работы и результаты лабораторного тестирования.

Структура системы

В разработанном гиперспектрометре в качестве спектрального элемента используется двойной компактный монохроматор АО [6]. Он состоит из двух идентичных АО ячеек, развёрнутых на 180°, что обеспечивает компенсацию большинства пространственно-спектральных искажений [7]. В каждой из этих ячеек поляризация входящего светового потока осуществляется путём его отражения от одной из граней анизотропного кристалла TeO_2. Эта бесполяризаторная схема делает конструкцию монохроматора более простой и позволяет сократить потери света при прохождении поляризаторов.

В общем виде оптическая схема разработанного АО гиперспектрометра представлена на рис. 1. Излучение от исследуемого объекта 1 посредством телеобъектива 2 направляется на вход АО монохроматора, перед которым установлен светоделитель 3, отводящий примерно 10 % излучения на цветную видеокамеру 5. Монохроматор состоит из двух развёрнутых на 180° идентичных неколлинеар-

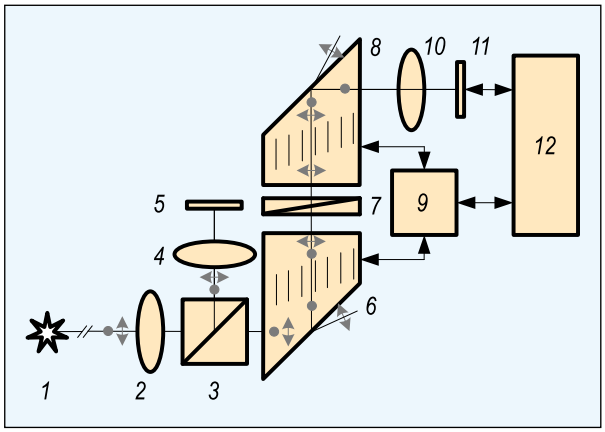


Рис. 1. Структурная схема АО гиперспектрометра: 1 – объект наблюдения, 2 – входной объектив, 3 – светоделитель, 4, 10 – объективы, 5 – цветная видеокамера, 6, 8 – АО ячейки, 7 – поляризатор, 9 – блок управления (генератор), 11 – монохромная видеокамера, 12 – компьютер. На световых лучах обозначена поляризация света. В АО ячейках изображены ультразвуковые дифракционные решётки

Рис. 2. Основные элементы макета гиперспектрометра

ных АО ячеек 6 и 8 и расположенного между ними поляризатора 7. На косой грани ячейки 6 происходит разделение входного потока по поляризации и далее оптическое излучение, длина волны которого соответствует точному выполнению условий синхронизма, дифрагирует на решётке, создаваемой акустической волной, в результате чего изменяется ориентация поляризации. Излучение других длин волн проходит через АО ячейку без изменений и отрезается поляризатором 7. Аналогично в АО ячейке 8 происходит повторная дифракция света с изменением поляризации, что обеспечивает дополнительную фильтрацию излучения. Выделение отфильтрованного излучения происходит на косой грани ячейки 8. Далее оно фокусируется объективом 10 на сенсоре монохромной видеокамеры 11. Изменяя частоту акустических волн с помощью высокочастотного генератора, расположенного в блоке управления 9, можно перестраивать период дифракционных решёток и получать изображение объекта на произвольно задаваемой длине волны. Сигнал с видеокамеры 11 поступает в компьютер, где обрабатывается с помощью специализированного программного обеспечения и архивируется для дальнейшего анализа другими методами.

Основные элементы гиперспектральной системы представлены на рис. 2. Они имеют следующие характеристики: спектральный диапазон 450–850 нм, полоса пропускания $\Delta\lambda$ = 5 нм на длине волны λ = 633 нм, что соответствует окну пропускания в оптических частотах 100 см$^{-1}$ и примерно 100 разрешимым по спектру каналам, коэффициент пропускания 60 % (на 633 нм), входной зрачок 8 мм, поле зрения 3°×3°, пространственное разрешение 600×500 элементов, потребляемая мощность не более 5 Вт, вес рабочей части системы (с оптикой и компьютером, но без корпуса) – 1,2 кг, длина – 20 см, управление – по интерфейсу *USB* 2.0.

Характеристики системы в целом не уступают показателям других систем аналогичного назначения, основанных на дифракционной решётке [8,9], в том числе с использованием призм [10], на интерферометре Фабри-Перо [11], на фурье-спектрометре [12] и на мультиспектральном («мультиапертурном») матричном детекторе [13], которые имеют спектральный диапазон $\lambda_{max}/\lambda_{min}$=1,5–2,5, число спектральных каналов от нескольких десятков до нескольких сотен и число разрешимых элементов по углу (пространству) – 100–1000. При этом их масса и энергопотребление не ниже, чем у АО системы: 1–10 кг и 10–20 Вт. Некоторые системы, имеющие широкий рабочий диапазон, например, *HYDICE* и *AVIRIS* (0,4–2,5 мкм), по существу, включают в себя комплекс приборов, имеющих суммарную массу свыше 300 кг и потребляющих свыше 100 Вт [14, 15]. Таким образом, гиперспектрометр на АО фильтре является одним из наиболее эффективных технических решений, подходящих для БПЛА.

Тестирование

Для сопоставления были выбраны два растительных объекта (свежий лист дерева и высушенная водоросль ламинария) и один искусственный (кусочек окрашенного картона), все имеющие близкий цветовой оттенок – зелёный. Для иллюстрации работоспособности макета гиперспектрометра была произведена регистрация спектральных изображений предметов и были определены их спектральные характеристики. На рис. 3, а представлены спектральные изображения этих объектов в диапазоне длин волн от 450 нм до 850 нм с шагом 50 нм при подсветке галогенной лампой, демонстрирующие существенно различающийся взаимный контраст элементов объектов на разных длинах волн. Для сравнения на рис. 3, б приведено изображение, полученное той же монохромной камерой без АО фильтра (широкополосное изображение). Полученные гиперспектральные данные позволили определить спектры отражения (рис. 3, в), общий вид которых согласуется со справочными данными [16,17].

Принципы работы системы

Основной задачей системы является выполнение персонализированного гиперспектрального мониторинга. Это значит, что объект исследования и вид задания определяются непосредственно пользователем системы и могут от случая к случаю существенно меняться. Для этого необходимо обеспечить возможность уточнения или даже изменения задания непосредственно в ходе полёта. Соответственно, все элементы системы должны быть управляемы и настраиваемы. Такая система может содержать три основных модуля: 1) платформу, обеспечивающую её движение и позиционирование в пространстве; 2) гиперспектрометр, выполняющий сбор оптической информации; 3) устройство управления, формирующее алгоритм выполнения задания в соответствии с поставленной задачей, а также с учётом получаемой информации и текущей обстановкой. Кроме того, система может иметь дополнительные модули, например, модуль связи, блок хранения информации и иные устройства, выполняющие специализированные функции. Однако при базировании системы на БПЛА ни объём доступной памяти и вычислительных ресурсов, ни пропускная способность канала связи не позволяют полностью переработать тот поток спектральной информации, который способен обеспечить гиперспектрометр, а потому необходимо обеспечить эффективный отбор полезной информации для получения результатов мониторинга в реальном времени.

Основными принципами, на которых должна строиться описанная система, предназначенная для решения разнообразных задач на основе гиперспектральной съёмки, являются: гибкость, управляемость, способность оперативно выполнять анализ регистрируемых данных, возможность работать в автономном режиме и быстро переориентироваться на иные задачи. В перспективе система может быть сделана адаптивной, т.е. быстро и самостоятельно реагирующей на изменение ситуации.

Для реализации этой концепции носитель должен быть компактным и легко управляемым и допускать различные виды движения, а гиперспектрометр и устройство управления должны потреблять минимальное количество ресурсов. Этому соответствует техническое решение в виде компактного мультикоптера и спектрометра изображений на основе управляемых АО фильтров.

Мультикоптер способен обеспечить движение с различной, в том числе достаточно низкой скоростью, а также режим зависания и управления высотой наблюдения. Гиперспектрометр на основе АО фильтров позволяет реализовать произвольный алгоритм спектральной съёмки: с любым шагом по спектру, любой последовательностью длин волн, варьируемой экспозицией и варьируемым пространственным разрешением, определяемым высотой наблюдения, угловым полем зрения и числом разрешимых положений.

Основные задачи, которые должен решать гиперспектрометр: обнаружение объектов, их выделение, идентификация, контроль состояния. Для этого, однако, должны быть разработаны и реализованы в виде программных модулей эффективные методы анализа спектрально-пространственных распределений. Одним из ключевых подходов является редукция полного массива гиперспектральных данных, требующего как большого времени регистрации, так и больших вычислительных мощностей, к минимально необходимому множеству данных, а именно к совокупности спектральных изображений, полученных на наиболее информативных с точки зрения решаемой задачи длинах волн. Такой подход реализует метод фрагментарной спектральной регистрации, сформулированный и обоснованный ранее для задач этого типа [18].

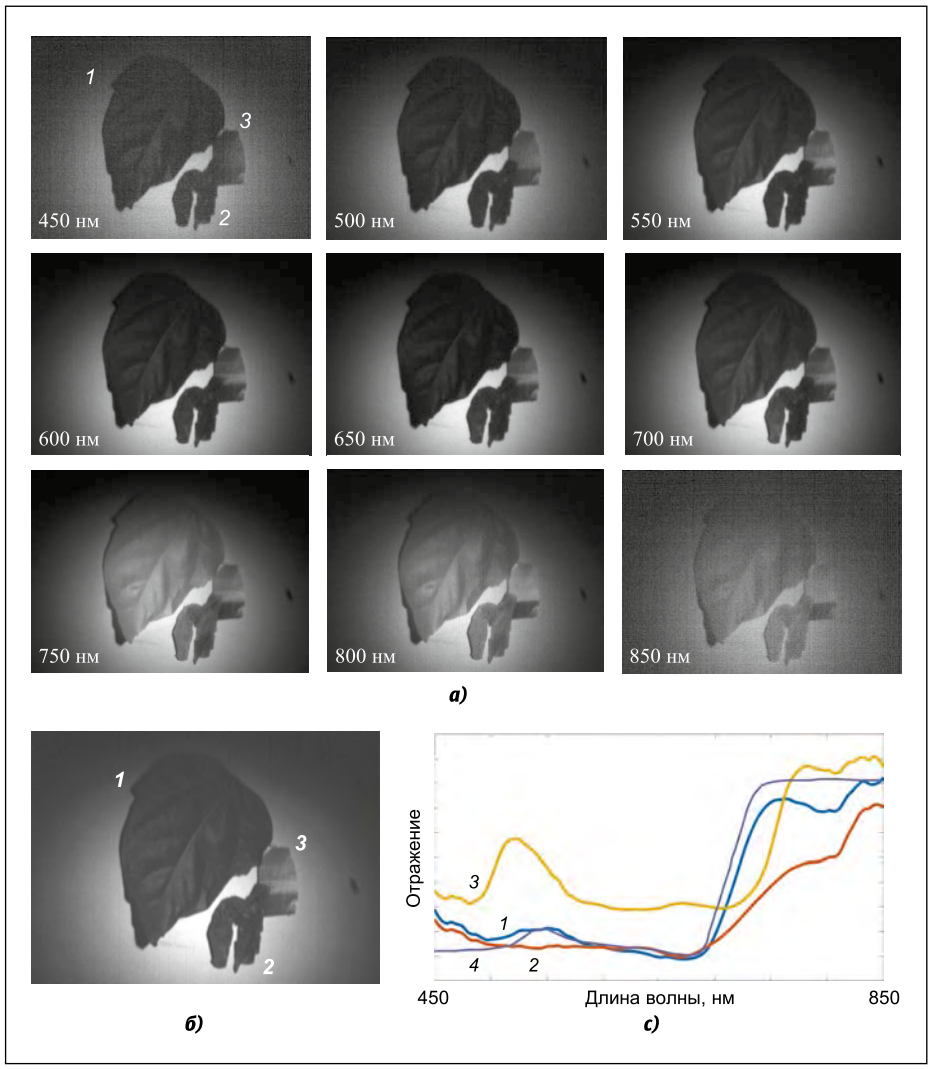


Рис. 3. Зарегистрированные изображения объектов: зелёный лист герани (1), водоросль ламинария (2) и зелёный картон (3): спектральные (а) и черно-белое широкополосное (б), а также определённые по спектральным снимкам спектры отражения (в) в сравнении с листом тополя (4) [16].

Устройство управления может быть реализовано на основе компактного компьютера, выполняющего несколько иерархически упорядоченных функций: от управления АО монохроматором и обработки гиперспектральных данных до анализа ситуации и принятия решений, в том числе касающихся траектории и режима полёта. Управляющие команды должны передаваться на все элементы системы, в том числе на отдельное самостоятельное средство управления полётом. Всё задание должно быть разбито устройством управления на этапы, каждый из которых содержит описание характера движения, режима измерения (наблюдения), задачи анализа и возможной реакции системы. При переходе к следующему этапу должна учитываться вся информация, полученная на текущий момент, а потому выполнение задания может проходить по разным сценариям (ветвящемуся алгоритму).

Схема обмена данными между основными компонентами разработанной ГС представлена на рис. 4.

Заключение

Разработанный гиперспектральный прибор обладает физико-техническими свойствами, обеспечивающими возможность его эффективного использования на БПЛА: компактность, низкое энергопотребление, возможность одновременного получения спектральных и цветных снимков в достаточно широком диапазоне длин волн (450–850 нм) с высоким спектральным (~5 нм) и пространственным (600×500 элементов) разрешением, а также компенсация хроматических аберраций. Он даёт возможность распознавания

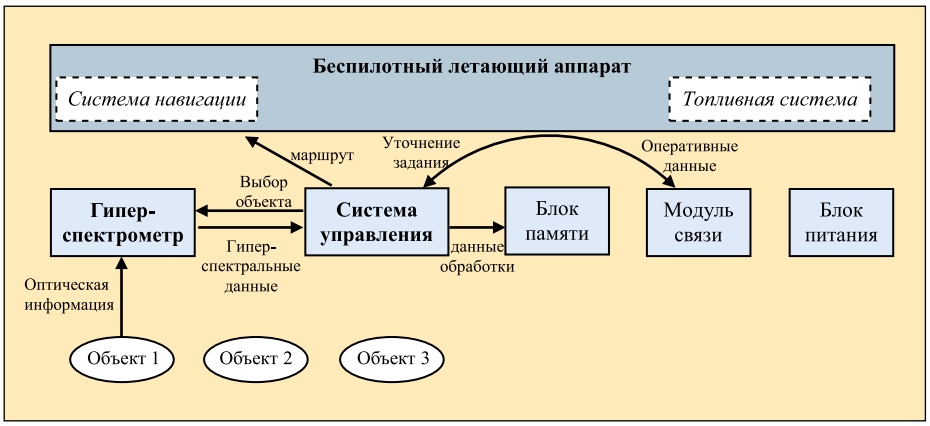


Рис. 4. Схема управления комплексом БПЛА с гиперспектрометром

образов как по спектру, так и по форме элементов в режиме их спектрального контрастирования. В дальнейшем планируется испытание его в натурных условиях и реализация алгоритмов распознавания объектов в реальном времени.

Благодарности

Работа поддержана грантом РФФИ № 16–29–11802 офи_м. В работе использовалось оборудование Центра коллективного пользования НТЦ УП РАН [http://ckp.ntcup.ru].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chang C.* Hyperspectral imaging: Techniques for spectral detection and classification // Springer Science & Business Media, 2003. 370 p.
2. *Shaw G.A., Burke H.K.* Spectral imaging for remote sensing // Lincoln Laboratory Journal, 2003. V. 14(1). P. 3–26.
3. *Bubion L., Miller P., Hayden A.* Comparison of AOTF, grating, and FTS imaging spectrometers for hyperspectral remote sensing applications // Proc. SPIE, 2000. V. 4049. № 239.
4. *Gaponov M., Machikhin A., Pozhar V., Shurygin A.* Acousto-optical imaging spectrometer for unmanned aerial vehicles // Proc. SPIE, 2017. V. 10466. № 104661V.
5. *Мазур М.М., Пожар В.Э.* Спектрометры на акустооптических фильтрах // Измерительная техника. 2015. № 9. С. 29–33.
6. *Мазур М.М., Мазур Л.И., Пустовойт В.И., Судденок Ю.А., Шорин В.Н.* Светосильный двухкристальный акустооптический монохроматор // Письма в Журнал технической физики, 2017. Т. 87. В. 9. С. 1399–1402.
7. *Мачихин А.С., Пожар В.Э.* Пространственно-спектральные искажения изображения при дифракции обыкновенно поляризованного светового пучка на ультразвуковой волне // Квантовая электроника, 2015. Т. 45. № 2. С. 161–165.
8. *Wu H., Haibach F.G., Bergles E., Qian J., Zhang Ch., Yang W.* Miniaturized handheld hyperspectral imager // Proc. SPIE, 2014. V. 9101, 91010W.
9. *И.Д. Родионов, А.И. Родионов, А.Л. Ведешин, А.Н. Виноградов, В.В. Егоров, А.П. Калинин.* Бортовые гиперспектральные системы для решения задач дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса, 2013. № 6. С. 81–93.
10. *Hu P., Lu Q., Shu R., Wang J.* An airborne pushbroom hyperspectral imager with wide field of view // Chiness optics letters, 2005. V. 3. № 12. P. 689–691.
11. *Saari H., Pölönen I., Salo H.*, et al. Miniaturized hyperspectral imager calibration and UAV flight campaigns // 2013, Proc. SPIE. V. 8889, 88891O.
12. *Lucey P.G., Akagi J.T., Hinrichs J.L., Crites S.T., Wright R.* A long-wave infrared hyperspectral sensor for Shadow class UAVs // Proc. SPIE, 2013. V. 8713, 87130D.
13. *Downing J., Harvey A.R.* Multi-aperture hyperspectral imaging // OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2013) https://doi.org/10.1364/AIO.2013.JW2B.2
14. *Mitchell P.A.* Hyperspectral digital imagery collection experiment HYDICE// Proc. SPIE, 1995. V. 2587. P. 70–95.
15. https://aviris.jpl.nasa.gov/aviris (2018).
16. *Gates D.M., Keegan H.J., Schleter J.C., Weidner V.R.* Spectral Properties of Plants // Applied Optics, 1965. V. 4(1). P. 11.
17. *Uhl F., Bartsch I., Oppelt N.* Submerged Kelp Detection with Hyperspectral Data // Remote Sensing, 2016. V. 8(6). P. 487.
18. *Fadeyev A.V., Pozhar V.E.*, Pustovoit V.I. The principle of fragmentary spectrum registration for acousto-optical spectrometers based on differential optical absorption spectroscopy // Proc. SPIE, 2013. V. 8890, 88900H.

Пожар, Витольд Эдуардович, *д.ф.-м.н., закончил в 1981 г. Московский физико-технический институт (МФТИ). Является зав. отделом в Научно-технологическом центре уникального приборостроения Российской академии наук (НТЦ УП РАН), профессором Московского государственного технического университета им. Баумана (МГТУ) и Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ) «МИФИ»*

Мачихин, Александр Сергеевич, *к.ф.-м.н., закончил МГТУ в 2007 г. Является ведущим научным сотрудником в НТЦ УП РАН и доцентом Национального исследовательского университета «МЭИ»*

Гапонов, Максим Игоревич, *бакалавр (МГТУ, 2016). Учится в магистратуре МГТУ*

Широков, Сергей Вячеславович, *закончил кафедру океанографии Балтийского федерального университета им. Канта. Работал в гидрографическом отделе Балтфлота, Южном федеральном университете (ЮФУ), Институте биологии внутренних вод, Краснодарберегозащита. Является ассистентом ученого секретаря ЮФУ, научным сотрудником НТЦ УП РАН*

Мазур, Михаил Михайлович, *д.ф.-м.н., закончил МФТИ в 1970 г. Является зав. лабораторией во ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ)*

Шерышев, Алексей Евгеньевич, *к.т.н. (1996), доцент (1998). Работал профессором МАТИ им. Циолковского. Является профессором Московского университета Гражданской авиации и доцентом Национального исследовательского университета «МАИ»*

Применение цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве многофункциональных элементов управления унифицированных человеко-машинных интерфейсов

С.А. ГОЛУБИН, В.С. НИКИТИН, Р.Б. БЕЛОВ[1]

ООО «НПП «Тензосенсор», г. Рыбинск

[1] E-mail: 507z@mail.ru

Аннотация

Активное развитие робототехники требует всё более сложных пультов дистанционного управления. При этом пульты управления становятся всё больше и дороже. Они снижают экономическую эффективность робототехники и повышают её стоимость. Научной задачей данной работы является исследование возможности применения оптических министиков на основе светодиодов в качестве базовых многофункциональных элементов управления человеко-машинных интерфейсов нового типа, позволяющих с помощью одинаковых устройств управлять всеми известными видами роботизированной техники. В ходе исследований использовались оригинальные эргономические методы целенаправленной комбинации министиков на двух рукоятках управления, так чтобы обеспечить удобство тактильного управления различными роботами без визуального контакта со средствами управления. В результате исследований были созданы и запатентованы новые средства управления, которые получили название «полиджойстики» (патент РФ № 2497177) и позволяют управлять техническими средствами, обладающими до 20-ти степенями свободы, что превышает аналогичные показатели известных средств управления в 3–5 раз. За счёт комбинированного применения оптических министиков, двух полиджойстиков и видеомаски, удалось создать универсальный человеко-машинный интерфейс нового поколения, который позволяет управлять различными роботами и транспортными средствами от трактора до самолёта.

Обсуждение полученных результатов производилось посредством их сравнения с параметрами пультов управления различных робототехнических систем. Анализ результатов сравнения показал, что устройства управления, в которых используются полиджойстики и цифровые оптические министики на основе светодиодов обладают наилучшими среди известных устройств управления роботами показателями по количеству реализованных степеней свободы, по отношению функциональности к весу устройств и занимаемому ими объёму. Новые интерфейсы уже нашли применение при разработке системы управления мультиагентным робототехническим комплексом для тушения лесных пожаров.

Ключевые слова: оптический министик, светодиод, фотодиод, оптическая система, полиджойстик, система управления, унифицированный человеко-машинный интерфейс.

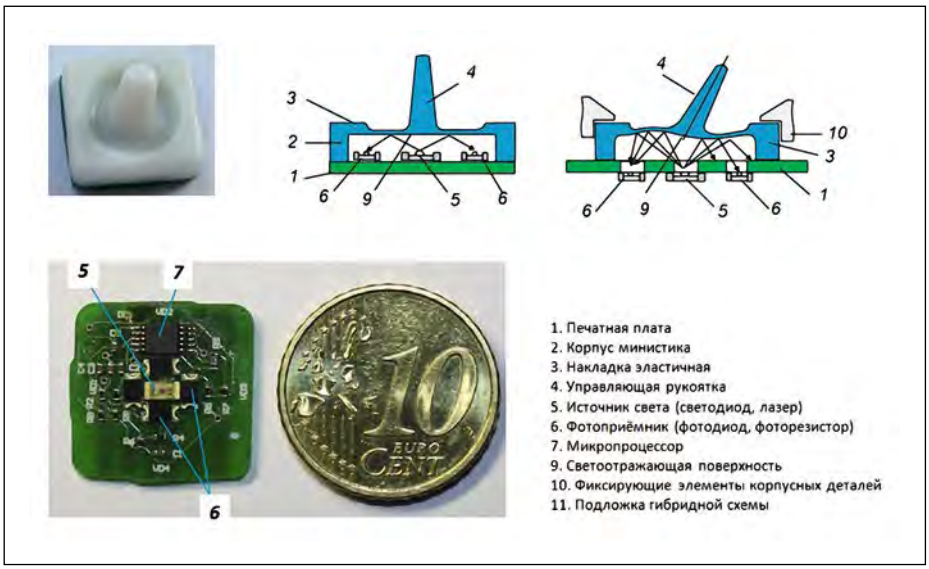


Рис. 1. Оптический министик *DMR4I–Ch*, разработанный НПП «Тензосенсор»

1. Введение

В настоящее время активно развивается сложная робототехника для тушения пожаров, проведения аварийно-спасательных мероприятий, выполнения опасных операций в горнодобывающей промышленности и т.п. Робототехнические комплексы становятся сложнее и многофункциональнее. Имеющиеся пульты управления, созданные с использованием традиционных джойстиков и кнопок, становятся всё больше и дороже и при этом всё равно обладают недостаточной функциональностью и неудобны. Поэтому очень часто компаниям-разработчикам приходится целиком копировать кабину роботизируемого транспортного средства. Так, например, поступили в компаниях *Komatzu* и БелАЗ для управления карьерными самосвалами-роботами [1, 2]. Подобные решения, когда стоимость средств управления сопоставима со стоимостью роботов, снижают экономическую эффективность робототехники. Решение данной проблемы возможно посредством разработки дешёвых и эргономичных человеко-машинных интерфейсов на базе новых многофункциональных элементов управления. Такие элементы были изобретены в НПП «Тензосенсор» и запатентованы в России [3, 4].

Научной задачей настоящей работы является исследование возможности применения цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве базовых элементов управления новых унифицированных человеко-машинных интерфейсов.

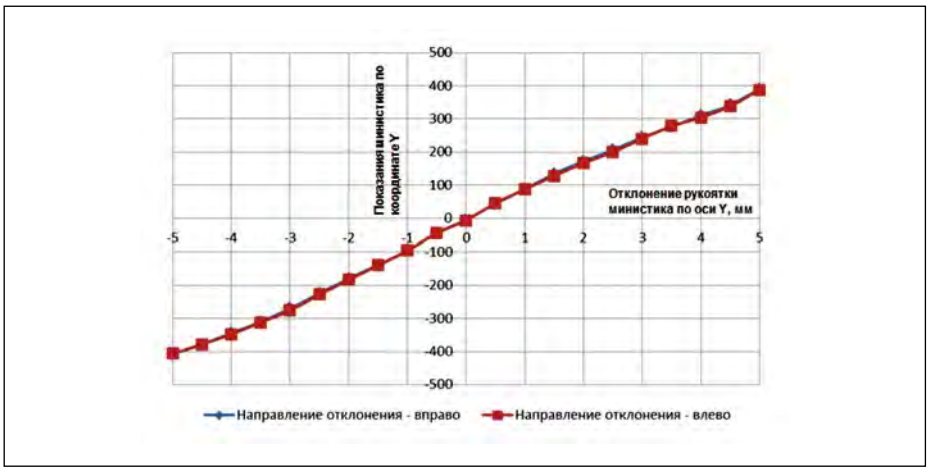


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала министика от величины отклонения управляющей рукоятки

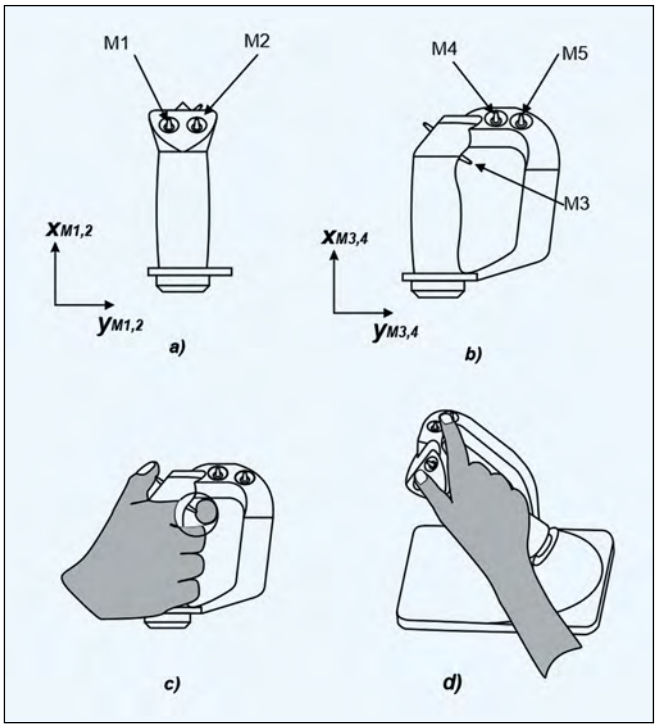


Рис. 3. Окончательный вариант комбинации министиков в конструкции полиджойстика с 5-ю министиками (министики обозначены M1, M2, M3, M4 и M5)

2. Описание предлагаемого устройства

Оптическая система цифрового министика показана на рис. 1. Министик содержит светодиоды и фотодиод, над которыми расположен упруго деформируемый элемент из эластичного полимера с управляющей рукояткой. Он служит оптическим модулятором, изменяющим интенсивность отражённого светового потока, падающего на фотодиод, при наклоне рукоятки. Процессор министика вычисляет угол и направление наклона рукоятки и передаёт информацию в систему управления.

Применение оптической схемы и микропроцессора позволило создать цифровой оптический министик *DMR4I–Ch* [5]. Этот министик обладает высокой линейностью выходного сигнала (рис. 2), удобным цифровым выходом сигнала, небольшими размерами (16×19×13,5 мм), массой порядка 2,3 г, высоким ресурсом порядка 1,5 млн нажатий. Диапазон отклонения управляющей рукоятки составляет по 5 мм в любом направлении. Результаты исследования характеристик оптических министиков приведены в [6–11].

Важнейшим преимуществом созданного министика является его полиморфность, т.е. возможность его использования в качестве универсального средства, способного выполнять сразу несколько функций, например, кнопки, тумблера, многопозиционного переключателя, регулятора и джойстика. Менять функциональность можно непосредственно во время работы, то есть в режиме реального времени. Цифровой министик обладает «интеллектом», он способен отличать длинные и короткие нажатия, одиночные и двойные нажатия, круговые вращательные движения, что недоступно другим известным типам переключателей.

В ходе исследований использовались оригинальные эргономические методы целенаправленной комбинации министиков на двух рукоятках управления роботами, так чтобы обеспечить удобство тактильного управления различными роботами без визуального контакта со средствами управления. В результате многократного перебора комбинаций расположений министиков и эргономических испытаний различных конструкций ручек управления с привлечением опытных экспертов были созданы и запатентованы уникальные средства управления, которые получили название «полиджойстики» [12].

На рис. 3 показан полиджойстик с оптимальным расположением министиков. Два министика (M1 и M2) расположены под большим пальцем. Министик M1 очень удобен для управления движением транспортного средства по курсу (повороты, развороты), а министик M2 удобно использовать для управления поворотом курсовой видеокамеры. Это подходит и для воздушных дронов, и для сухопутных роботов. Третий министик M3 расположен, как курок на пистолете, что очень удобно для экстренных ситуаций – резкого торможения, проведения фотосъёмки (спуска затвора) и т.п., так как указательный палец имеет очень большую скорость реакции. Ещё два министика (M4 и M5) расположены в верхней части полиджойстика. Эти министики можно использовать для длительных операций управления манипуляторами специальной техники, наведения рабочих органов, переключения режимов работы или навигации.

Для повышения функциональных возможностей целесообразно использовать одновременно два полиджойстика с несимметричным распределением функций, т.е. левым полиджойстиков управлять одним набором функций, а правым – другим набором функций. При этом с помощью

специальной функции программы управления можно переключать симметричность функциональности: для правшей установить один порядок функциональности, а для левшей использовать зеркальный порядок.

На основании проведённых исследований были созданы полиджойстики *PD-002*, технические характеристики которых имеются на сайте компании «Тензосенсор» [13].

3. Результаты экспериментов

Экспериментальные исследования функциональных возможностей полиджойстиков показали, что они позволяют управлять как воздушно-космическими (шаттлы, самолёты, вертолёты, коптеры), так и всевозможными сухопутными и водными (автомобили, тракторы, экскаваторы, харвестеры, комбайны, катера-глиссеры и т.п.) техническими средствами. Наличие 10-ти двухкоординатных министиков, работающих в режиме джойстиков, позволяет обеспечить управление роботами, требующими управления 20-ю степенями свободы. Это очень высокий показатель функциональности.

Унифицированный человеко-машинный интерфейс включает в себя два полиджойстика управления, видеомаску и блок сопряжения с системой управления (рис. 4). На дисплее видеомаски отображаются изображение от видеокамер, тактическая обстановка, а также различные приборы и переключатели, необходимые для управления. На полиджойстиках размещаются многофункциональные элементы управления – цифровые оптические министики. Применение полиджойстиков позволяет осуществлять надёжное тактильное управление без зрительного контакта с манипуляторами, а использование видеомаски оригинальной конструкции позволило избавиться от громоздких дисплеев, чувствительных к засветке, вибрациям и толчкам.

Демонстрационный видеоролик с примерами управления различной техникой имеется на сайте компании (см. http://www.tenzosensor.ru/images/TenzosensorPJ.mp4).

Экспериментальные исследования показали, что полиджойстики унифицированного человеко-машинного интерфейса обеспечивают высокие эргономические стандарты и удобство работы как «правшей», так и «левшей».

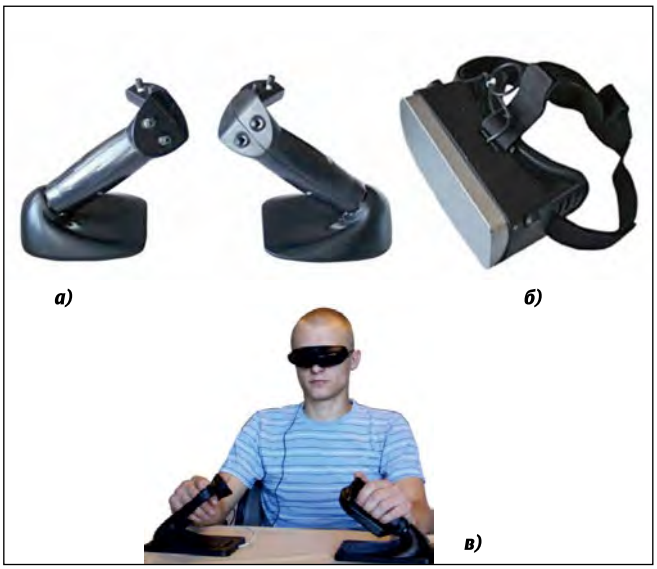


Рис. 4. Унифицированный человеко-машинный интерфейс: *а* – полиджойстики PD-002; *б* – видеомаска; *в* – оператор с новым унифицированным человеко-машинным интерфейсом

Рис. 5. Специализированные пульты управления роботами

4. Сравнение параметров пультов управления различными робототехническими системами

Концепция *HOTAS*[1], использованная авторами при создании нового интефейса, достаточно популярна. Её развитие идёт по пути увеличения количества и номенклатуры оперативных органов управления на рукоятках управления летательным аппаратом, как для левой, так и для правой руки лётчика.

Однако данный подход к реализации концепции *HOTAS* имеет и серьёзные недостатки. По существу, на рукоятке может быть удобно расположен только один оперативный орган управления, имеющий фиксированную функциональность. Для управления робототехническими комплексами используются как серийно выпускаемые изделия, так и оригинальные решения.

Из серийно выпускаемых средств управления разработчики мобильных платформ, как правило, выбирают разнообразные джойстики, геймпады, пульты управления и т.д. Преимуществами серийных изделий являются отсутствие затрат на их разработку и гарантированный эксплуатационный ресурс. Недостатками являются фиксированная функциональность устройств и эргономические решения, не всегда соответствующие желаниям разработчика.

Оригинальные решения средств управления в виде специализированных пультов управления применяются, как правило, достаточно крупными разработчиками (рис. 5).

Преимуществами специализированных пультов управления являются расширенная функциональность. К недостаткам этих систем можно отнести невысокие эргономические свойства.

Близким аналогом полиджойстиков НПП «Тензосенсор» можно считать интерфейс харвестера компании *Ponsse – PonsseComfort* [14] (рис. 6), который содержит джойстики, подлокотники и боковую панель приборов.

На боковых поверхностях огромных базовых ручек-джойстиков под

[1] *HOTAS* (*Hands On Throttle-And-Stick*) – устройство, компоновка которого позволяет пилотам выполнять большинство функций по управлению, не убирая рук со средств управления.

Рис. 6. Интерфейс *PonsseComfort*

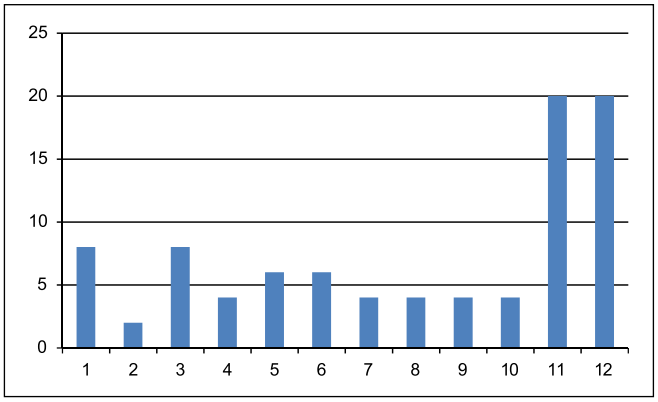


Рис. 7. Количество степеней свободы у джойстиков (номера устройств соответствуют порядковым номерам в таблице)

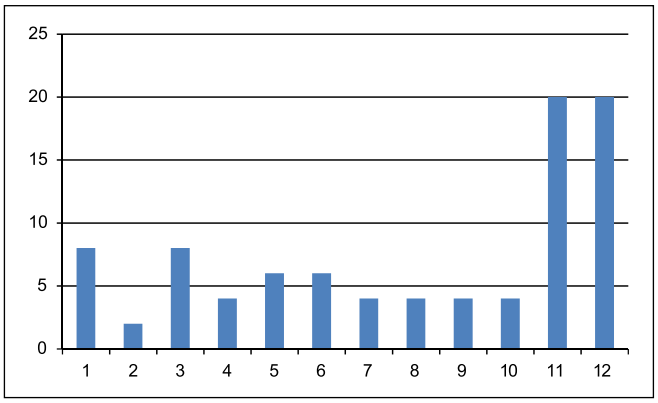


Рис. 8. Отношение количества степеней свободы у джойстиков к объёму устройства управления (номера устройств соответствуют порядковым номерам в таблице)

большими пальцами оператора расположены ещё и аналоговые миниджойстики. В зоне доступности больших пальцев находятся также множество кнопок, которые программируются на выполнение разных операций. Несмотря на высокую функциональность, применение стандартных комплектующих потребовало большую цену: интерфейс *PonsseComfort* обладает существенными недостатками – большими габаритами и весом, а также высокой стоимостью.

В таблице приведены характеристики известных систем управления роботами.

На рис. 7 показано количество степеней свободы у джойстиков, использованных в устройствах управления, приведённых в таблице. На рис. 8 показано отношение количества степеней свободы по джойстикам к объёму устройств, приведённых в таблице.

Оценка полученных результатов производилась посредством их сравнения с параметрами пультов управления различных робототехнических систем. Анализ результатов сравнения показал, что устройства управления на основе полиджойстиков и цифровых оптических министиков на основе светодиодов обладают наилучшими среди исследованных устройств управления показателями по количеству реализованных степеней свободы, по отношению функциональности к весу устройств и занимаемому ими объёму.

5. Выводы и рекомендации

Результаты проведённых исследований позволяют сделать вывод, что применение цифровых оптических министиков на основе светодиодов в качестве многофункциональных элементов управления позволяет создавать современные эргономичные человеко-машинные интерфейсы, обладающие расширенной функциональностью.

Сравнение современных средств управления роботами и перспективных разработок в области человеко-машинных интерфейсов подтверждает целесообразность применения унифицированного человеко-машинного интерфейса НПП «Тензосенсор» на основе цифровых оптических министиков в системах управления робототехническими комплексами различного назначения. На основании проведённых исследований было принято решение использовать разработанный интерфейс в системе управления мультиагентным робототехническим комплексом для тушения лесных пожаров [15].

Данные исследования проводятся при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения Соглашения от 26 сентября 2017 г. № 14.579.21.0151. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок RFMEFI57917X0151. Авторы признательны мониторам и экспертам Дирекции НТП за корректное и доброжелательное обсуждение полученных результатов.

Авторы выражают благодарности доктору технически наук Семенову Э.И. за ценные рекомендации, данные им в ходе выполнения работ.

7. Список литературы

1. *Kulula, M.I., Akande, J.M.* Effects of Machine Parameter and Natural Factors on the Productivity of Loading and Haulage Equipment // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.– 2018. – Vol. 6, No. 1. – P. 139–153. doi: 10.4236/jmmce.2018.61011.

2. *Потапенко А.Н., Гайдуков К.Ю., Медведев В.В.* Особенности автоматизации карьерных машин в составе автоматизированной системы диспетчерского управления // ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова», Журнал «Фундаментальные исследования».– 2016.– № 9 (часть 1) – С. 56–61.

3. Патент РФ № 2596576, 19.03.2017.

4. Патент РФ № 2594992, 26.01.2015.

Таблица

Характеристики известных систем управления роботами

№ п/п	Наименование производителя или изделия	Количество джойстиков, шт.	Количество переключателей, шт.	Длина /ширина/ высота, дм	Объём/вес, л/кг
1	Робот платформы «*TALON/SWORDS*»	4	23	4/4/1,5	24/12
2	Роботизированный щит *SWAT-Bot*	1	5	0,8/0,5/1,2	0,48/0,8
3	Пульт *HBC Radiomatic Palfinge*r	4	1	4/2/1,5	12/3
4	Пульты ГНЦ РФ ЦНИИ РТК	2	20	4/4/1,5	24/8
5	ПУ роботом «ВАРАН» – НУЦ Робототехники МГТУ им Баумана	3	22	4/4,5	24/8
6	ПУ роботами МРК «Варяг» – НУЦ Робототехники МГТУ им Баумана	3	24	4/4/1,5	24/8
7	Пульт управления МРТК «Металлист» (г. Ковров)	2	24	3,5/3,5/0,7	8,58/4
8	Пульт управления автомобиля «Тигр», ОАО «Элинс»	2	12	4/2/2,5	5/12
9	Пульт управления роботом ОАО «Спецтехника пожаротушения»	2	25	4/4/1,5	24/12
10	Пульт управления роботом «Трал»-Патруль»	2	6	3,5/1,5/1,5	7,88/3
11	Полиджойстики НПП «Тензосенсор»	10	-	0,2/1,8/1,2	0,86/1,2
12	Штурвалы на базе полиджойстиков	10	-	3/1,8/1,8	9,72/2,5

5. DMR4I–Ch Цифровой оптический министик /Даташит/ ООО НПП «Тензосенсор» / 2016 г/ http://www.tenzosensor.ru/images/DMR4I–Ch%20Data%20Sheet.pdf

6. *Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И.* Экспериментальное исследование характеристик оптических министиков // Светотехника.– 2015.– № 6. – С. 17–20.

7. *Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И.* Исследование влияния светотехнической схемы оптических министиков на их характеристики // Светотехника.– 2016.– № 6. – С. 34–38.

8. *Голубин С.А., Ломанов А.Н., Никитин В.С., Комаров В.М., Семенов Э.И.* Исследование характеристик оптического министика с VCSEL-лазером // Светотехника.– 2017.– № 1. – С. 24–27

9. *Golubin, S.A.,. Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M.* Experimental research on the performance of optical ministicks with a common receiver // Light&Engineering.– 2015. Vol. 23, No. 4. – P. 81–87.

10. *Golubin, S.A.,. Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M., Semenov, E.I.* Experimental study of how lighting patterns affect optical ministiks characteristics // Light&Engineering.– 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 105–110.

11. *Golubin, S.A.,. Lomanov, A.N., Nikitin, V.S., Komarov, V.M., Semenov, E.I.* Study of Characteristics of VCSEL-based Optical Ministicks // Light&Engineering.– 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 111–116.

12. Патент РФ № 2497177, 19/03/2012.

13. PD-002 Полиджойстик /Даташит/ ООО НПП «Тензосенсор» / 2017 г/ http://www.tenzosensor.ru/images/PD-002 %20 Data%20Sheet.pdf.

14. *Lahtinen, M.* Ergonomics evaluation of Cut-To-Length forest harvesters, Master's thesis Management and Economy in the International Forest Sector, June 2017/ https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130914/Lahtinen_Matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

15. *Никитин В.С., Белов Р.Б.* Роботизированный комплекс для тушения лесных пожаров, ООО «Научно-производственное предприятие «Тензосенсор» // Materials of the13th Int. Scientific and Practical Conf. «Fundamental and Applied Science – 2017», Vol. 3. October 30 – November 7, 2017. – P. 24–27. http://www.rusnauka.com/books/2017–10–28-A4-tom-3.pdf.

Голубин Сергей Александрович, *инженер. Окончил в 2013 г. РГАТУ им. П.А.Соловьёва. Инженер-системотехник 000 «НПП Тензосенсор». Аспирант ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П.А. Соловьёва»*

Никитин Владимир Степанович, *кандидат техн. наук. Окончил в 1976 г. Тбилисское Высшее артиллерийское командное училище. Директор ООО «НТЦ «Интрофизика»*

Белов Роман Борисович. *Заместитель генерального директора, главный конструктор НПП «Тензосенсор». Курирует разработку и производство инновационной продукции*

Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: исследование и оптимизация оптического тракта

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

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

Аннотация

Рассмотрена новая концепция архитектуры гибридных осветительных комплексов для систем совмещённого освещения. Описан каскадный принцип построения оптического тракта таких комплексов, при котором конструкция содержит две ступени каскада: верхнюю и нижнюю. Верхняя (входная) выполнена на базе соответствующей модификации полого трубчатого световода «*Solatube*®» (естественный свет), а нижняя, на базе световода «*Solatube*®» большего диаметра, совмещена со светодиодным блоком искусственного света и предназначена для передачи смешанного света (естественного и искусственного). Результаты выполненных исследований по КПД передачи света позволили оптимизировать решение нижней ступени каскада и разработать номенклатуру производственной продуктовой линейки нового гибридного осветительного комплекса «*Solar LED-S*». Приведено описание первого опыта применения этого комплекса в пилотной системе совмещённого освещения «комнаты переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача». Реализована полностью автономная система питания осветительной установки на базе солнечных батарей.

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

Введение

Несмотря на недавность появления первых прототипов гибридных осветительных комплексов (ГОК), сейчас уже виден эволюционный путь их развития в техническом, экономическом и социальном аспектах [1].

Первый отечественный опыт применения систем совмещённого освещения (ССО) на основе ГОК «*Solar LED-S*» подтвердил ожидаемые (расчётные) параметры осветительной системы и эффекты: энергоэффективность и высокое качество световой среды. При этом в процессе монтажа и последующей эксплуатации ГОК выявились два существенных недостатка, устранение которых существенно повысит потребительские качества этих устройств [1]:

• Во-первых, размещение светодиодного блока искусственного света (СБИС) в зоне коллиматора (по аналогии с конструкцией, описанной в [2]) обусловливает высокий процент отражённого («обратного») света, который проявляется в довольно ярком свечении куполов ГОК над кровлей в тёмное время суток (рис. 1, *а*). Расчёты (по данным измерений уровня освещения коллектора) показали, что уровень «обратного» светового потока светодиодного блока составляет около 22 % от суммарного, что существенно снижает энергоэффективность и КПД ГОК. На рис. 1, *б* (фотография со стороны купола на кровле), показан эффект «обратного» отражения светового потока светодиодных модулей (СДМ). Радикальное решение этой проблемы достижимо при таком рас-

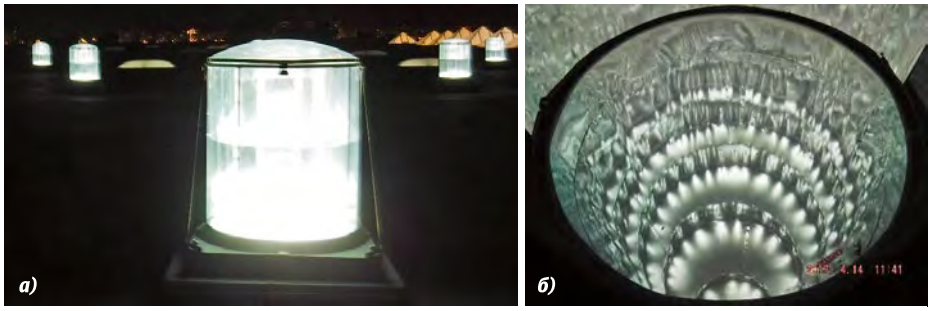


Рис. 1. Свечение коллектора в результате «обратных» отражений светового потока СДМ (*а*) и зеркальные отражения СДМ (вид сверху через коллектор в канал ПТС) (*б*)

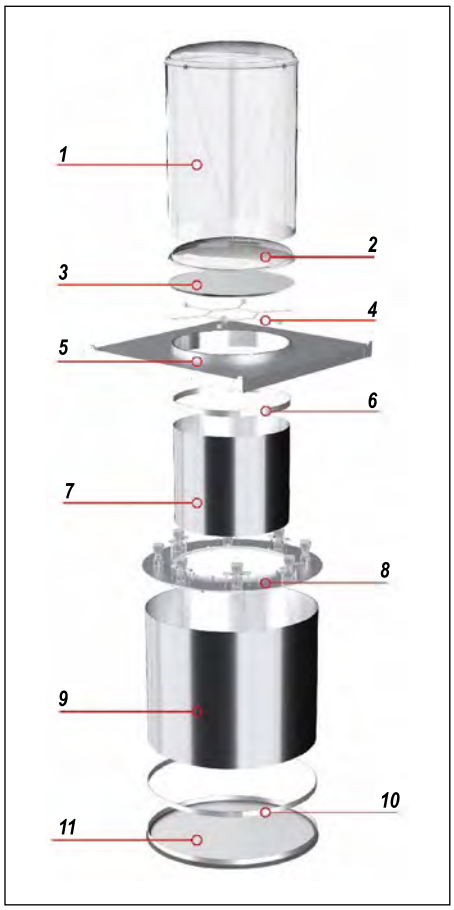
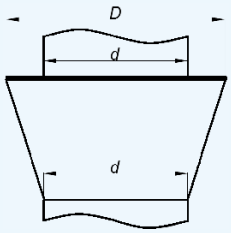
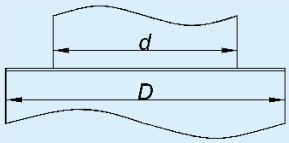
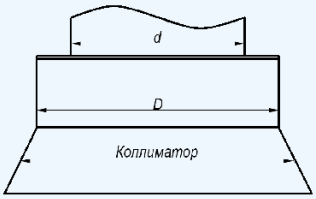
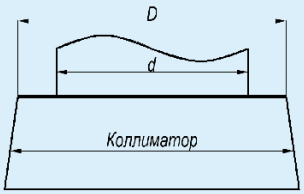


Рис. 2. Декомпозиция ГОК «*Solar LED-S*» (на базе ПТС «*Solatube® M74*»):
1 – коллектор «*Solatube® M74*» серии «*SkyVault*»; *2* – внешний купол; *3* – внутренний защитный купол; *4* – элемент защиты от проникновения; *5* – бордюрный флешинг; *6* – кольцо фиксации световода; *7* – световод верхней ступени оптического каскада; *8* – СБИС – кольцеобразная монтажная панель, на которой герметично установлены светодиодные блоки в составе СДМ, радиатора охлаждения и управляющего устройства (УУ) СДМ (каждый СДМ закреплён на торцевой поверхности радиатора охлаждения так, чтобы после установки радиатора на монтажную панель СДМ обращался в полость нижней ступени оптического каскада); *9* – световод нижней ступени оптического каскада; *10* – кольцо для фиксации рассеивателя; *11* – призматический рассеиватель

Таблица 1

Результаты определения КПД передачи светового потока η_i в зависимости от конструктивного решения оптического тракта ГОК

№ варианта	Конструктивное решение нижней ступени	Схематическое изображение	η_i, %	*d*, мм	*D*, мм
1	Панель – усечённый конус «воронка»		53,7	350	530
2	Панель – труба		99,3	350	530
3			99,5	530	740
4			99,6	740	945
5	Панель – труба с переходом в коллиматор		99,6	530	740
6	Панель – коллиматор		99,8	530	740

положении светодиодного излучателя в полости полого трубчатого световода (ПТС), при котором оптические оси СДМ и ПТС и плоскость отражающей поверхности ПТС параллельны, что позволит значительно снизить обратный световой поток в результате отражений от внутренней поверхности ПТС. Ниже описаны исследования оптического тракта ПТС ГОК в контексте сказанного.

• Во-вторых, размещение СБИС внутри помещения при большой высоте установки рассеивателей, СБИС и системы автоматического управления (САУ) создаёт серьёзные проблемы эксплуатационного характера. В частности, монтаж и обслуживание ГОК при большой высоте установки (5–20 м) обусловливает необходимость строительства дополнительных конструкций для доступа к ГОК или привлечение для работ промышленных альпинистов. Это вызывает усложнение и удорожание монтажа, ремонта и обслуживания СБИС ГОК, что противоречит инновационному духу ГОК. Ниже приведены технические решения, снижающие остроту данного вопроса.

При решении названных проблем авторами изменена концепция архитектуры ГОК и проведены исследования его оптического тракта, направленные на повышение КПД передачи светового потока СДМ по оптическому каналу ПТС. На основе исследований предложен конструктивно новый ГОК «*Solar LED-S*» и представлен типоряд его модификаций.

Новая концепция построения оптического тракта ГОК

В конструкции ГОК «*Solar LED-S*» реализован каскадный принцип построения оптического тракта [3, 4], с двумя ступенями: верхней и нижней. Верхняя (входная) ступень каскада объединена со светоприёмным куполом и выполнена на базе соответствующей модификации ПТС «*Solatube*®» (естественный свет), а нижняя ступень каскада – на базе ПТС «*Solatube*®» большего диаметра, следующего в ряду модификаций «*Solatube*®» – совмещена со СБИС и предназначена для передачи смешанного света (естественного и искусственного). Подробное описание модификаций ПТС «*Solatube*®» приведено в статье [5].

В ГОК «*Solar LED-S*» (рис. 2), в отличие от предшественника – ГОК «*Solar-LED*», СДМ расположены на монтажной панели таким образом, что лицевая сторона печатной платы СДМ обращена внутрь полости нижнего оптического каскада. В такой комбинации оптические оси СДМ, ПТС и плоскость отражающей поверхности ПТС параллельны, благодаря чему устраняются наиболее вероятные причины возникновения «обратного света» в ГОК.

Рис. 3. Внешний вид изделий продуктовой линейки ГОК «*Solar LED-S*» соответствующей модификации

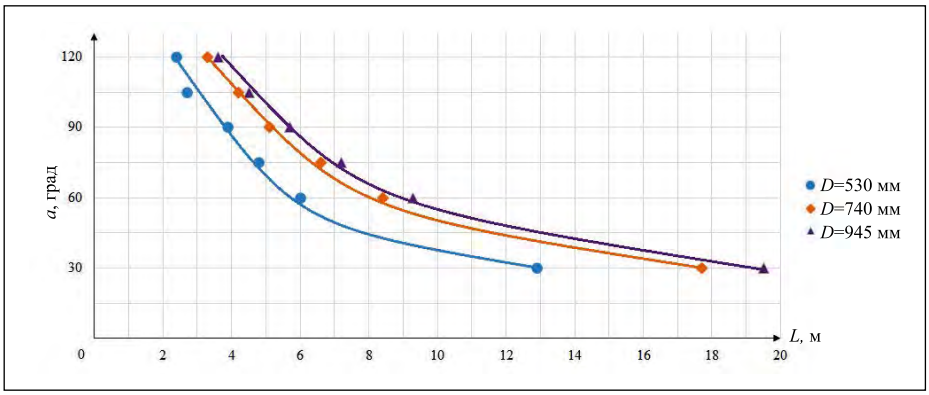


Рис. 4. Зависимость максимальной длины трубы нижней ступени оптического каскада ГОК *L* (при которой КПД передачи света $\eta_i \geq 95$ %) от угла расходимости светового пучка СДМ α

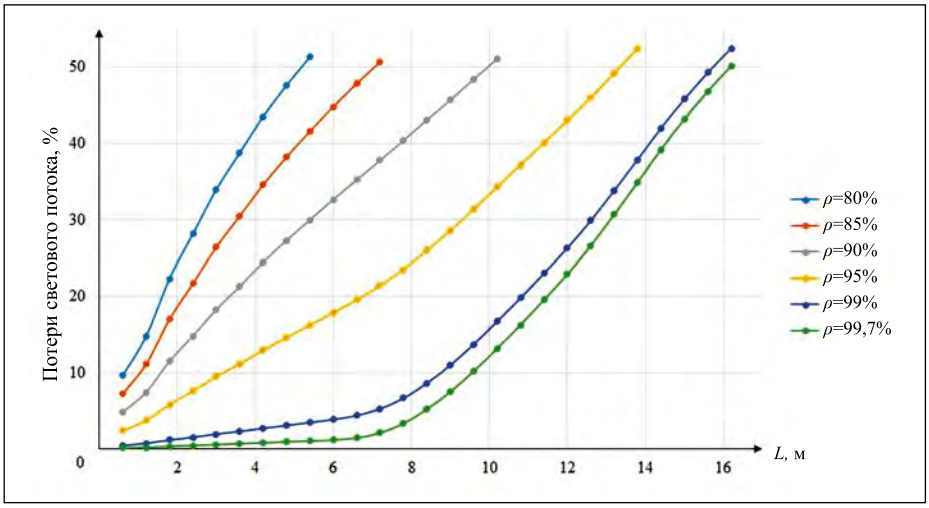


Рис. 5. Зависимость световых потерь от длины канала передачи света по ПТС *L* при разных коэффициентах отражения внутреннего покрытия

Исследование нижней ступени оптического каскада ГОК

Сразу отметим, что верхняя ступень оптического каскада имеет конфигурацию и параметры ПТС, в конструкцию которого не внесено никаких изменений. Особенностью же нижней ступени оптического каскада ГОК является объединение воедино систем передачи естественного и искусственного (светодиодных излучателей) света. Фактически нижняя ступень транспортирует смешанный свет. Монтажная панель со встроенными светодиодными блоками (рис. 2, поз. *8*) объединяет ступени каскада и одновременно выполняет роль переходного узла от верхней к нижней ступени [4]. Нижняя ступень оптического каскада по всей длине представляет собой полую трубу одного диаметра. Такому решению ГОК предшествовали исследования оптического тракта нижней ступени каскада методом компьютерного моделирования в программной среде «*LightTools*». Искомым результатом и критерием сравнительной оценки вариантов конструктивного решения принят КПД передачи светового потока оптического тракта ГОК η_i. Исходные условия для моделирования приняты следующие:

- угол расходимости светового пучка СДМ $\alpha = 120°$;
- длина нижней ступени оптического тракта $L = 600$ мм;
- входной световой поток (световой поток СДМ) $\Phi_{вх} = 12000$ лм;
- коэффициент отражения внутренней поверхности ПТС – 99,7 %;
- измеренный выходной световой поток в плоскости рассеивателя ГОК – $\Phi_{вых}$;
- η_i оценивается как отношение $(\Phi_{вых}/\Phi_{вх})\cdot 100$ %.

Результаты компьютерного моделирования и расчётов приведены в табл. 1.

Результаты моделирования и оценки η_i в зависимости от конструктивного решения подтверждают правильность выбранной конфигурации нижней ступени оптического каскада, при которой $\eta_i > 99$ %. Полученные данные моделирования были положены в основу разработки оптимальной конструкции ГОК «*Solar LED-S*».

Номенклатура производственной продуктовой линейки ГОК «*Solar LED-S*»

Указанные результаты моделирования и расчётов и существующий типоряд ПТС «*Solatube*®» составили базу для разработки номенклатуры производственной продуктовой линейки (ППЛ) ГОК «*Solar LED-S*» (табл. 2). В таблице приведены номинальные значения естественного светового потока $\Phi_{v,\ ЕО}$ для соответствующих модификаций ПТС «*Solatube*®» [1], которые являются базовыми для определения значений искусственного светового потока $\Phi_{v,\ ИО}$. Последние задаются с учётом коэффициента эксплуатации *MF* согласно указаниям [6, табл. 4.3]. Например, для помещений с нормальными условиями среды *MF* принимается равным 0,71.

На рис. 3 показан внешний вид конструкций из номенклатуры ППЛ ГОК «*Solar LED-S*» согласно табл. 2.

Таблица 2

Номенклатура и характеристики модификаций ГОК «*Solar LED-S*»

№ мод.	*Условное обозначение модификации ГОК	**$\Phi_{V,\,ЕО}$, лм	***$\Phi_{V,\,ИО}$, лм	Комплектность СБИС	Рекомендуемая высота установки рассеивателя ГОК, м
I	350/СБИС/530	3000	6000	4 СДМ × 15Вт 4 УУ	≤ 4
II	530/СБИС/740	8000	12000	8 СДМ × 15Вт 8 УУ	≤ 7
III	530/СБИС/740У	8000	12000	8 СДМ × 15Вт 8 УУ	≤ 7
IV	740/СБИС/950	18500	27000	9 СДМ × 30Вт 9 УУ	> 7
V	К/740/СБИС/950	30000	42000	14 СДМ × 30Вт 14 УУ	> 7

Примечания:
* Структура условного обозначения построена по принципу перечисления сверху вниз элементов ГОК. Например, модификация *III* – 530/СБИС/740У*:* 530 – диаметр трубы световода верхней ступени оптического каскада, мм; СБИС – монтажная панель с блоками светодиодных модулей; 740 – диаметр трубы световода нижней ступени оптического каскада, м; У – конусообразный усилитель (коллиматор); (К – коллектор).
** $\Phi_{V,\,ЕО}$ – номинальный естественный световой поток, передаваемый по ПТС верхней ступени оптического каскада.
*** $\Phi_{V,\,ИО}$ – номинальный световой поток СБИС, передаваемый по ПТС нижней ступени оптического каскада.

Исследование влияния вторичной оптики светодиодных модулей на КПД передачи светового потока в протяжённом полом световоде

Многообразие архитектурных и инженерных сооружений обусловливает применение ГОК с разной протяжённостью нижней ступени оптического каскада, вплоть до 20 м. В этой связи, несмотря на рекордное значение коэффициента отражения покрытия внутренней поверхности ПТС (99,7 %), возможны световые потери, обусловленные характером распространения света по полой трубе, определяемым углом расходимости светового пучка СДМ (α). Световые потери ограничивают максимальное расстояние передачи света по протяжённому ПТС. Для оценки возможных потерь и определения расстояний эффективной передачи светового потока СДМ по ПТС авторами выполнены исследования зависимости световых потерь от α в рамках оптимизации параметров вторичной оптики СДМ. Исследования проводились в программе «*LightTools*» для нижних ступеней оптического каскада, отличающихся диаметром трубы. Граничным критерием отбора данных моделирования служили потери светового потока на уровне 5 %, соответствующем расстоянию эффективной передачи света на уровне $\eta_i \geq$ 95 %. Результаты исследования приведены на рис. 4 и указывают на зависимость световых потерь от угла расходимости светового пучка СДМ, что отражает связь потерь с характером многократных отражений и, соответственно, предполагает выбор оптимальной вторичной оптики для СДМ.

Как видно из рис. 4, наилучшие параметры обеспечиваются при $\alpha < 60°$. Это обстоятельство предопределило выбор вторичной оптики для СДМ ППЛ ГОК «*Solar LED-S*» с α = 30–60°. При этом ГОК обеспечивает высокую эффективность передачи света для большинства проектов ССО архитектурных сооружений. С другой сто-

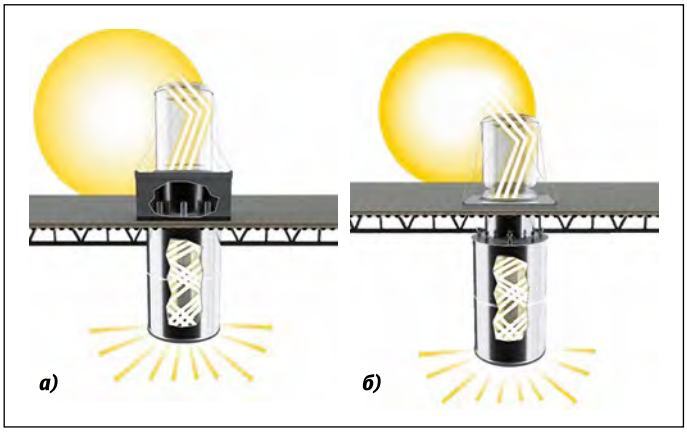


Рис. 6. Варианты монтажа ГОК «*Solar LED-S*»:
а – наружный монтаж, СБИС установлен в бордюре; *б* – внутренний монтаж, СБИС установлен в помещении

Рис. 7. ГОК «*Solar LED-S*» в помещении «Комната переговоров» (процесс монтажа). СБИС размещён в пространстве технического этажа, расположенного над потолком этого помещения под кровлей (внутреннее исполнение)

Рис. 8. Помещение «Комната переговоров». Естественная освещённость при высокой облачности неба – 400 лк. При солнечной погоде предусмотрено регулирование естественного светового потока с помощью диммеров, которые позволяют не только регулировать естественный световой поток, но и выполнять полное отключение естественного освещения при проведении видеопрезентаций

роны, оптимальный выбор вторичной оптики для нижних ступеней оптического каскада разной протяжённости позволяет минимизировать ценовые показатели ГОК и предоставляет возможности управлять светораспределением в плоскости рассеивателя, влияя на КСС ГОК.

Критичность выбора материала отражающего покрытия ПТС демонстрирует зависимость световых потерь от длины тракта передачи света при разных коэффициентах отражения покрытия (рис. 5). Зависимость имеет классический вид, демонстрирующий динамику роста световых потерь по мере распространения света по протяжённому ПТС (в результате многократных отражений) при заданном коэффициенте отражения покрытия. Для протяжённых ПТС удовлетворительные показатели имеют покрытия с коэффициентом отражения 99,0 % и выше.

Особенности монтажа ГОК «*Solar LED-S*»

Новая концепция каскадного построения оптического тракта ГОК [3, 4] успешно решает проблему эксплуатационного порядка, устраняя недостаток, связанный с большой высотой монтажа ГОК. Решение проблемы заключается в расположении СБИС и элементов управления снаружи, над кровлей сооружения (наружное исполнение) (рис. 6, *а*). При этом СБИС размещают внутри бордюра, установленного на кровле. Все элементы, расположенные внутри бордюра, защищены сверху бордюрным флешингом, обеспечивающим надёжную гидроизоляцию. В каждой из четырёх стенок бордюра выполнены сервисные лючки, которые обеспечивают доступ к монтажной панели СБИС для выполнения ремонтных и сервисных работ. (Комплектность изделий из номенклатуры ППЛ ГОК «*Solar LED-S*» приведена в табл. 2.) Управляемый СБИС имеет блочную конструкцию, обеспечивающую обслуживание без применения специальных инструментов. Строительно-монтажная конструкция выполнена таким образом, что между трубой ПТС верхней ступени каскада, бордюром, флешингом и панелью образован свободный объём, достаточный для размещения СДМ и производства работ по их обслуживанию. При этом обслуживающий персонал находится на поверхности кровли здания на уровне сервисных лючков. В рабочем состоянии последние закрываются герметичными дверцами. Наружное строительно-монтажное исполнение минимизирует затраты на монтажные, сервисные и ремонтные работы при обслуживании ГОК.

Каскадная конструкция ГОК обладает универсальностью в отношении способа и места монтажа. Помимо наружного исполнения возможны варианты и внутреннего монтажа, который при некоторых обстоятельствах или архитектурных особенностях сооружения может быть предпочтительней (рис. 6, *б*), как в случае применения ГОК «*Solar LED-S*», приведённом ниже.

Применение ГОК «*Solar LED-S*»

В 2017–2018 гг. ГОК «*Solar LED-S*» получил первое применение в помещении «Комната переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача» (рис. 7–9), где были установлены две модификации *II* – 530/СБИС/740, по табл. 2, снабжённые САУ и датчиком постоянной освещённости (рис. 8), установленным на потолке между рассеивателями. При этом была реализована полностью автономная система питания осветительной установки посредством солнечных батарей (рис. 9).

Заключение

Разработанная номенклатура ППЛ ГОК «*Solar LED-S*» носит инновационный характер, предназначена для создания высокоэффективных ССО и, благодаря универсальности, применима в объектах практически любых архитектурных решений. Первый опыт применения ГОК «*Solar LED-S*» в пилотной ССО помещения «Комната переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача» положил начало их внедрению в практику освещения.

Авторы выражают благодарность П.О. Егорьеву за профессионально выполненные монтажные, пуско-наладочные работы и предоставленные фотографии объекта (рис. 7–9).

Рис. 9. Вид на крышу. Вводный узел ГОК и солнечные панели

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В.* Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 28–34.

2. Гибридная система освещения Solatube® M74 Smart LED / СОЛАР: магиче-

ский свет. [Сайт компании]. Cop. 2004–2015. URL: http://www.solatube.su/katalog-modeley-solatube-i-solar-star/zenitnyie-fonari-novogo-pokoleniya-sistemyi-solnechnogo-osveshheniya-solatube-m74-skyvault/ (дата обращения: 12.02.2018).

3. *Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н.* Ресурсосберегающий гибридный светильник для совмещённого освещения / ПМ № 170978 РФ. 2017. Бюл. № 14.

4. *Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В.* Ресурсосберегающий гибридный светильник / ПМ № 180084 РФ. 2018. Бюл. № 16.

5. *Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н.* Технология Solatube®: перспективы в архитектуре и строительстве в России // Светотехника.– 2016.– № 1. – С. 35–40.

6. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*».

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

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

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

СВЕТО ТЕХНИКА LIGHT & ENGINEERING

От редакции

Учитывая огромное значение состояния освещения школ для здоровья молодого поколения, редакция направила всем губернаторам регионов России письмо от Отраслевого НТС «Светотехника», журнала «Светотехника» и офтальмологической клиники МОНИКИ с просьбой обратить особое внимание на приведение в соответствие с действующими нормами освещение школ в период ремонта зданий и подготовки к новому учебному году.
Ниже публикуем текст этого письма.

Для здоровья школьников имеет исключительно важное значение состояние электрического освещения школьных зданий. Существующее освещение, находящееся в крайне плохом состоянии (в 80 % школ уровень освещённости на партах составляет не более половины от нормируемых значений), школьные доски в абсолютном большинстве классов вообще не освещены, коэффициент пульсации светового потока ламп во всех школах составляет вместо нормируемых 10 % в десятки раз большие значения из-за неправильного выполнения электрической сети (отсутствия расфазировки ламп и светильников).

В результате количество школьников с пониженной остротой зрения и болезнью глаукомой превышает 25 % от числа выпускников школ.

В связи с недопустимостью такого положения и для скорейшего его исправления убедительно просим Вас усилить контроль в процессе летнего ремонта и подготовки школ к новому учебному году за строгим выполнением норм освещения школ.

– для квалифицированного контроля за выполнением нормативных требований (400лк. на партах, 500лк. на школьной доске, пульсация светового потока не более 10 %) просим Вас ввести в состав комиссий по приёмке зданий школ в процессе ремонта: инженера-электрика из службы сетей наружного освещения города и учителя физики этой школы, а также одного из родителей учащихся.

Надеемся, что важность поднятого нами вопроса настолько велика, что найдёт отклик в руководимом Вами регионе.

Инновационные концепции использования естественного света как существенного компонента формирования архитектурного пространства

Н.А. САПРЫКИНА

МАРХИ (государственная академия), Москва
E-mail: nas@markhi.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальному направлению исследования потенциальных возможностей естественного света как существенного компонента жизненного пространства. Цель статьи – в выявлении инновационных концепций использования свойств естественного света для формирования интерактивно связанного со средой обитания архитектурного пространства. Отмечается, что естественный свет, являясь необычайно мощным инструментом организации архитектурных объектов, привлекает учёных и проектировщиков в различных областях деятельности. Представлены результаты обзора архитектурных исследований и разработок, проводимых в некоторых областях деятельности в связи с рассматриваемой проблемой. Установлено, что инновационные концепции моделирования естественного света могут внедряться при создании соответствующих объектов архитектуры. Полученные результаты могут быть полезны для теории и практики формирования пространства обитания, открывая совершенно новые возможности в архитектуре.

Ключевые слова: световая среда, искусственный солнечный свет, энергетический потенциал, естественный свет.

1. Введение

Актуальность. Известно, что естественный свет не только обеспечивает зрительную работоспособность человека, но и выполняет психологические, биологические и эстетические функции. Являясь материалом для созидания, он играет главную роль в формировании пространства обитания, меняя архитектонику, пропорции и характер эмоционального воздействия. В зависимости от его качества впечатление может быть самым разнообразным и оказывать глубокое воздействие на восприятие и обогащение нашего понимания окружающей среды.

Немаловажны особенности света для пространственной организации и оптимизации световой среды архитектурных объектов – формообразование и пространство в архитектуре проявляются только при наличии света. Необходимо отметить экологический аспект естественного освещения вследствие его существенно большей энергоэффективности по сравнению с искусственным освещением, что может являться решающим показателем оптимизации будущих возможностей архитектуры.

Проблема организации обитаемого пространства, используя естественный свет, всегда интересовала архитекторов. Достаточно вспомнить такие шедевры архитектурного творчества как здание центральной городской библиотеки Выборга, построенной в 1933–1935 гг. по проекту финского архитектора А. Аалто. В главном читальном зале библиотеки отсутствуют традиционные окна (поверхность стен была оставлена для подвесных книжных полок). Естественное рассеянное освещение, которое не даёт теней, поступает в залы через круглые окна на крыше.

Другой известный пример – здание штаб-квартиры компании «Джонсон Вакс» (1936–1939 гг.) в Расине (Висконсин, США), в котором американским архитектором Ф.Л. Райтом конструктивная основа центрального зала компании решена в виде древовидных расширяющихся кверху колонн. Освещение осуществляется через прозрачные стеклянные трубки, дающие ровный успокаивающий свет всему помещению. Позже, через 13 лет, рядом с этим зданием был построен комплекс исследовательского центра, где наружное остекление башни-лаборатории выполнено из гнутых стеклянных трубок, создающих рассеянным мягким светом чрезвычайно приятный эстетический эффект.

В настоящее время естественный свет, являясь необычайно мощным инструментом организации архитектурного пространства, привлекает учёных и проектировщиков в разных областях.

В связи с этим ***цель*** статьи заключается в выявлении инновационных направлений использования естественного света как важной составляющей архитектурного пространства, интерактивно связанного со средой обитания. Это обусловлено тем, что многофункциональность и комплексность способов использования естественного света, а также широта приёмов его «проявления» требует рассмотрения соответствующих концепций в некоторых аспектах.

Метод. В связи с актуальностью этой проблемы проведён обзор существующих архитектурных решений по использованию естественного света при формировании архитектурной среды обитания в контексте некоторых выявленных направлений исследований и разработок, проводимых в разных областях деятельности. Кроме того, представлены результаты проведённого исследования – выявленные концепции использования естественного света при организации световой среды архитектурных объектов.

2. Концентрация и транспортировка естественного света

В соответствии с требованием времени к формированию пространственной среды обитания в практике проектирования и строительства архитектурных объектов в последнее время возникают самые разные предложения по *сбору естественного света* для изменения восприятия пространства в течение суток и по мере смены сезонов.

Среди примеров этого направления можно выделить проведение модернизации фасада 130-метровой башни «*Eqho*», построенной в 1988 г. в парижском деловом квартале Дефанс, и реконструкции её вестибюля, что позволило обеспечить попадание в него естественного света. Разработка проекта трансформации дневного и ноч-

ного обликов вестибюля проводилась архитектурной студией *Hubert & Roy* при участии специализирующейся в области светодизайна студии *Concepto* [1]. Решение вестибюля, благодаря наличию стеклянной крыши, позволяет поступающему естественному свету изменять восприятие его пространства в течение суток – путём проекции на стены и пол теней от расположенных вверху специальных элементов (рис. 1). Применяемое дихроичное стекло (отражает одну и пропускает другую часть спектра падающего излучения) окрашивает проходящий через него свет, меняя его цвет в заданных пределах в зависимости от угла падения солнечных лучей. Это обеспечивается за счёт отклонения определённых лучей с помощью подвешенных внутри металлической решётчатой конструкции зеркальных панелей, что позволяет направлять цветные лучи на внутреннюю стену. Предложенная система освещения, как «ловушка» света, позволяет усиливать впечатление от воспринимаемого пространства вестибюля и управлять естественным светом круглосуточно сколь угодно долго.

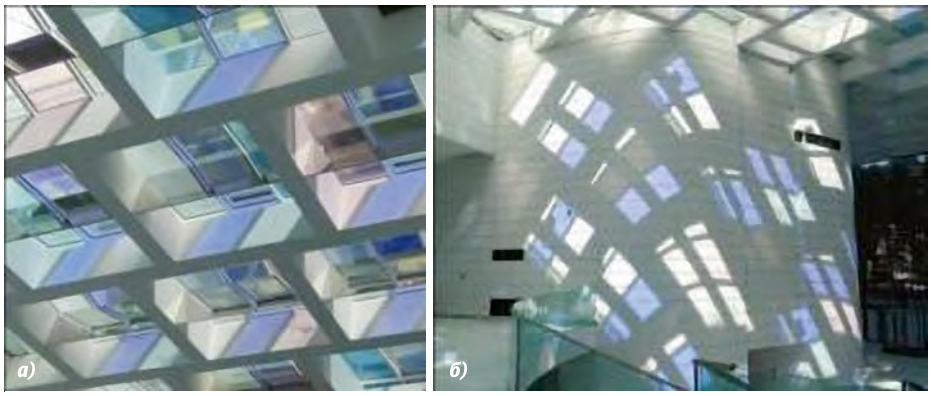


Рис. 1 – Ловушка света в вестибюле башни «*Eqho*» (Париж):
а – решётчатая конструкция зеркальных потолочных панелей; *б* – цветные световые пятна на внутренней стене, обращённого на север помещения, в которое прямой солнечный свет никогда не попадает

Рис. 2. Ловушка света в транспортном пересадочном узле «*Fulton Center*» (Нью-Йорк):
а – общий вид здания узла; *б* – внутреннее пространство с сетчатой структурой купола

Возможность *транспортировки естественного света* с целью его доставки на платформы подземки предусмотрена в крупном транспортном пересадочном узле «*Fulton Center*» в самом центре нижнего Манхеттена, объединяющем сразу 11 линий метро (авторы проекта – бюро *Grimshaw Architects* совместно с инженерно-проектной компанией *Arup*). Застеклённый прямоугольный объём пересадочного узла площадью около 34000 м^2 вмещает просторный атриум высотой около 34 м с залом ожидания в центре и торговыми точками по краям. Завершает конструкцию стальной купол с расположенным под углом светопроёмом, под которым находится лифтовая стойка, окружённая лестницей. На внутренних стенах купола находится сложная, закреплённая на перекрещивающихся стальных тросах, сетчатая структура, высотой более 21 м и диаметром около 15 м. (разработчик – бюро *James Carpenter Design Associates*). Это устройство, «*Sky Reflector-Net*», с площадью поверхности около 800 м^2, состоит из множества (около 1000) ромбовидных панелей из перфорированного алюминия, которые отражают естественный свет, позволяя ему проникать не только в сам атриум, но и (через отверстие в полу) на нижний уровень платформ (рис. 2) [2].

В данном случае представляет профессиональный интерес процесс создания подвижной конструкции инженерами, которым требовалось сначала понять, как она будет работать в зависимости от давления, температуры воздуха, работы системы кондиционирования и других факторов. При этом с помощью специального программного обеспечения было промоделировано поведение объекта в 815 ситуациях, как стандартных (жара, холод, временные изменения), так и форс-мажорных, а также при пожаре. Определив таким образом оптимальную форму конструкции, инженеры изучили и просчитали распределение уровней естественного (верхнего) и искусственного освещения в зависимости от внешних условий. Необходимо отметить, что полностью электрическое освещение в пересадочном узле использовано лишь в пешеходных переходах, где применена тоже своеобразная сетка, но из люминесцентных ламп [2].

Примером создания «*искусственного солнечного света*» для имитации реалистичного естественного освещения в закрытых пространствах (комнатах без окон, музеях, станциях метро) может служить уникальное устройство «*CoeLux*» – разработка П. Ди Трапани из Университета Инсабрии (Италия). Оно выглядит как обычный световой люк и предназначено для воссоздания реалистичного «солнечного света» в закрытых пространствах. Сложная оптическая система, которая точно имитирует сол-

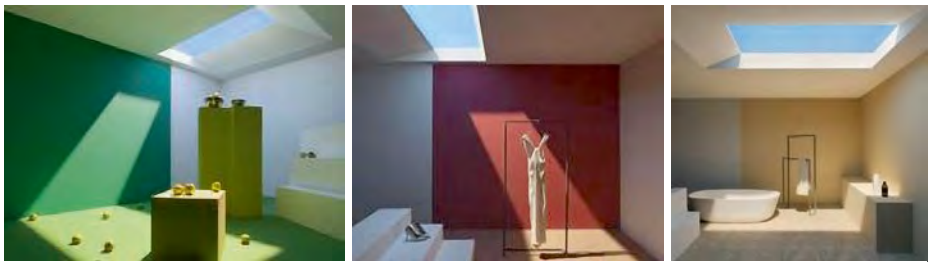


Рис. 3. Устройство имитации солнечного света «*CoeLux*»: примеры решения интерьеров

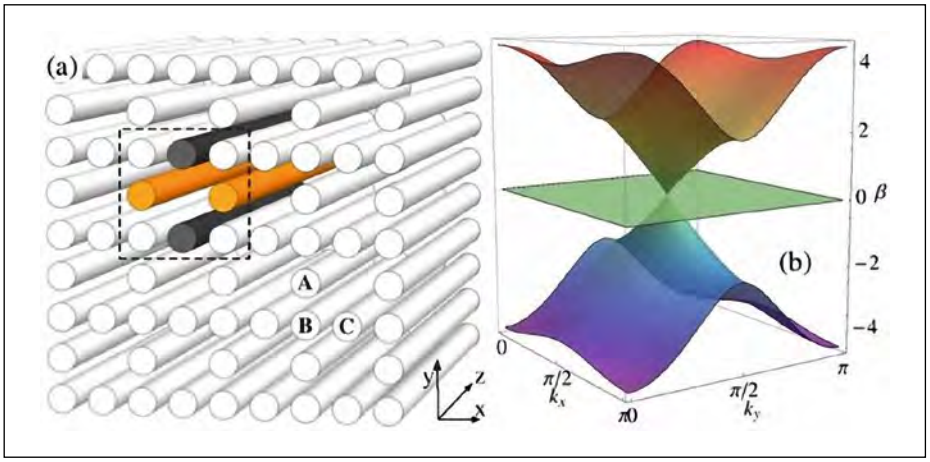


Рис. 4. Модель и диаграмма блокировки естественного света в двумерной ловушке

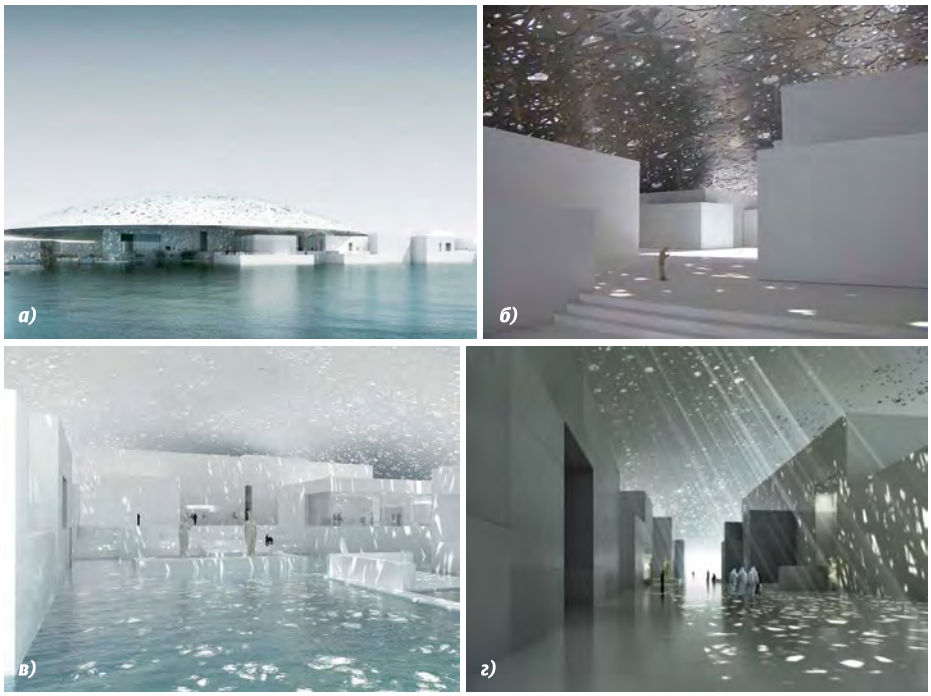


Рис. 5. Комплекс «Лувр Абу-Даби» (ОАЭ):
а – общий вид; *б*, *в*, *г* – варианты решения внутреннего пространства

нце и его лучи, использует светодиоды с высоким качеством цветопередачи. Специальный механизм визуализации имеет интерфейс, рассчитанной на имитацию неба и падающего в окно солнечного света (рис. 3) [3]. «*CoeLux*» не только обеспечивает искусственное дневное освещение закрытых пространств, но и может быть запрограммирована на эмуляцию трёх сценариев освещения в зависимости от географического расположения (например, обеспечение тёплого света, типичного для северных регионов, или экваториального, вертикального типа освещения прохладных оттенков и с более резкими тенями). При этом устройство имеет небольшую толщину и может встраиваться в любой подвесной потолок.

Привычные приёмы использования и преобразования естественного света учёные стремятся дополнять *новыми способами его сбора*. Так, физиками из Чили и Германии разработана двумерная оптическая ловушка света, основанная на использовании способности электромагнитных колебаний интерферировать друг с другом. Она представляет собой двумерный вариант кристаллической структуры перовскита – одного из самых твёрдых материалов на земле. Метод, в котором свет блокируется только в двух измерениях и может свободно распространяться в третьем, имеет преимущества перед другими способами. Он значительно проще: требует материалов с небольшим показателем преломления (рис. 4) [4].

Совершенно очевидно, что рассмотренные тенденции концентрации и транспортировки естественного света были бы совершенно невозможны без применения параметрического подхода к формированию архитектурного пространства как системы концептуальных, технологических и эстетических составляющих.

3. Защита от солнечного излучения и управление естественным светом

Ещё одним аспектом моделирования естественного света в разных областях деятельности является *защита от солнечного излучения.* Эта проблема широко освещается в публикациях о практических и теоретических разработках в области теневых систем солнцезащиты [5, 6] и др. Представляют интерес разработки, использующие новые приёмы работы со светом, использующие инновационные подходы, проявляющиеся в двух формах: *статической* и *динамической*.

Примером *статического* подхода служит комплекс «Лувр Абу-Даби» (ОАЭ), разработанный лауреатом Притцкеровской премии архитектором Ж. Нувелем, который открылся в ноябре 2017 г. В этом городе-комплексе, с выставочной площадью около 8000 м^2, 55 музейных зданий накрыты парящим куполом. Сложный рисунок купола как результат геометрического дизайна, повторяющегося в разных

объёмах и ракурсах, образуется восемью оригинальными слоями (четырьмя внешними и четырьмя внутренними), расположенными в определённом порядке, что придаёт куполу изысканную сетчатую структуру, в которой выражается характерная для природы этой страны постоянная борьба тени и света. Кружевной геометрический купол «Лувра Абу-Даби» производит впечатление переплетённых пальмовых листьев, традиционно используемых в этой стране как кровельный материал, производя эффект «дождя света». Внутри огромного «плавающего» купола дождь из светлых узоров освещает микрогород – небольшие галереи, озёра и ландшафты (рис. 5) [7]. Купол накрывает две трети музея, создавая затенение и уменьшая потребление энергии. Кроме того, через музейный комплекс проходит подземный водный канал, превращающий пространство в освежающий оазис.

Примером *динамического* приёма при управлении естественным светом могут служить офисные башни «*Al Bahr*» в Абу-Даби, в которых также предусмотрена система солнцезащиты. Полностью остеклённые здания имеют подвижный фасад, состоящий из 2000 динамичных панелей, которые могут полностью закрывать или открывать участки фасада. Панели снабжены фотоэлектрическими элементами, реагирующими на солнечный свет и аккумулирующими солнечную энергию (рис. 6) [8]. Это позволяет уменьшать температуру помещений и снабжать здания электроэнергией.

Подвижным фасадом обладает также арт-центр в Шанхае, построенный по проекту бюро *Foster + Partners* и студии *Heatherwick Studio*. Особенностью комплекса является постоянно меняющийся, динамичный фасад, который в соответствии с требуемым освещением внутреннего пространства может трансформироваться и существенно менять вид здания путём движения множества бронзовых труб, расположенных в три ряда и прикрывающих собой основной объём здания (рис. 7) [9].

Защита от солнечного излучения и управление дневным светом вызывает необходимость разработки и внедрения в процесс проектирования кинематических приёмов образования и функционирования архитектурных объектов. Это связано с тем, что природные изменения и характер человеческой деятельности определяют противоречие статичной и динамичной составляющих среды обитания под действием постоянно меняющихся факторов социально-культурного и природного окружения.

Рис. 6. Система солнцезащиты в офисных башнях «*Al Bahr*» в Абу-Даби: *а* – общий вид; *б* – видоизменение солнцезащитных устройств; *в*-схема трансформации панелей

Рис. 7. Динамичный фасад арт-центра в Шанхае (КНР): общий вид (варианты трансформации)

4. Организация световой среды архитектурных объектов

Инновационные подходы к формированию пространства обитания непосредственно связаны с *моделированием естественного света* при организации световой среды архитектурных объектов. Это проявляется в творческих изысканиях швейцарского архитектора П. Цумтора. В 2010 г. архитектор-философ П. Цумтор получил за проект терм в Вальсе первую премию на престижном конкурсе «*Daylight Award*» (по разряду «Архитектура»)[1].

Термы в Вальсе, как считают специалисты, стали своего рода размыш-

[1] Надо отметить, что идея оценивать архитектурные произведения в контексте моделирования света принадлежит швейцарскому фонду *VELUX STIFTUNG*, с 1980 г. поддерживающего и финансирующего проекты, связанные с изучением естественного света и оптимальных возможностей его использования в медицине и архитектуре [10].

Рис. 8. Термы в Вальсе (Швейцария):
а – интерьер бассейна; *б* – интерьер комнаты отдыха

Рис. 9. Архитектура естественного света П. Цумтора:
а – музей Кёльнского диоцеза «Колумба»; *б* – часовня Святого Бенедикта в Зумвитге

Рис. 10. Павильон «Солнечный цикл» (Нью-Йорк)

лением над взаимоотношениями воды и камня, света и тени (рис. 8) [11]. А вот свет в здании музея Кёльнского диоцеза «Колумба» играет решающую роль – «он выхватывает пространство во времени и транслирует его людям, предлагая самим определиться со временем». Сюда же можно отнести и знаковое для П. Цумтора сооружение – часовню Святого Бенедикта в Зумвитге (Граубюнден, Швейцария) (рис. 9) [10, 11].

Тенденция использования *бионических* приёмов потребления максимального количества солнечной энергии в течение всего светового дня проявляется в проекте «Солнечный цикл», разработанном архитектурной студией *Paolo Venturella & MenoMenoPiu Architects* для парка аттракционов «*Freshkills park*» (Нью-Йорк, США). Объект является одновременно масштабной солнечной батареей и многоцелевым павильоном для проведения концертов, спортивных мероприятий, лекций и т.п. Форма структуры здания, направленная на траекторию движения солнца, собирает его лучи под всевозможными углами (рис. 10) [12]. «Солнечный цикл» (как энергетически самообеспечивающийся павильон) содержит две поверхности, «интегрированные» друг в друге. Первая, фотоэлектрическая, поверхность всегда находится на солнце, а вторая, зеркальная, отражает всё «окружающее», умножает зрелищность ландшафта и естественный свет, распределяя его под закрытой частью павильона.

Наряду с известными и достаточно подробно разработанными способами сбора и концентрации естественного света наиболее эффективное решение гарантируют световодные системы [13, 14]. Такие системы собирают свет посредством светозаборников, установленных на крыше и стенах, и передают его во внутренние помещения через полые трубы с зеркальными поверхностями.

Применение в архитектуре и конструктивных системах принципов строения биологических структур является предметом исследований и проектирования объектов архитектуры многими творческими группами, характеризующимися использованием в своей деятельности способов вычислительного проектирования. Развивающееся прогрессивное направление в развитии архитектуры, применяющее новые экологически чистые информационные технологии при создании проектных предложений, связано с новым отношением к ценности окружающей среды, к сохранению и сбережению энергии.

5. Энергетический потенциал естественного света

Наряду с рассмотренными приёмами моделирования естественного света представляют профессиональный интерес *потенциальные возможности управления использованием* энергии солнечного излучения. Так, по известной легенде, Архимед почти полностью сжёг римский флот, атаковавший в 212 г. до н.э. его родные Сиракузы. Для этого он использовал массив вогнутых зеркал из полированной меди [15]. С другой стороны, архитекторы всегда учитывали и учитывают мощь солнечного освещения зданий. А неучёт этого чреват форс-мажорными ситуациями. Так, новый небоскрёб, «Уоки-токи», в финансовом районе Лондона (архитектор *R. Vinoly*) благодаря своей конфигурации отражает солнечный свет настолько интенсивно, что способен расплавлять даже пласти-

ковые детали рядом припаркованных автомобилей (рис. 11) [16].

Грамотное отношение к использованию солнечной энергии проявлено при создании построенной в 1970 г. солнечной печи в Фон-Ромё-Одейо (Восточные Пиренеи, Франция) как экологичного источника высоких температур. Зеркальное сооружение имеет диаметр 54 м и состоит из 10000 вогнутых зеркал, которые отражают и фокусируют солнечные лучи на площадку в 40 см по диагонали. Массив зеркал действует как параболический отражатель, концентрируя свет в своём фокусе. Мощность печи – 1 МВт. При этом напротив параболического зеркала установлены гелиостаты – специальные 63 зеркальные плиты со 180 секциями. У каждого гелиостата своя «точка ответственности» – сектор параболы, на который отражается собираемый свет. В вогнутом зеркале лучи солнца собираются в точку фокуса – в этом месте температура достигает 3500 °С, но температуру в огромной солнечной печи можно регулировать перемещением зеркал под разными углами. Чтобы максимально собирать солнечную энергию, гелиостаты движутся вслед за солнцем (рис. 12) [17].

Иллюстрацией *потенциальных возможностей* использования солнечной энергии является созданный фирмой *Sanyo*, связанной 50-летней историей взаимоотношений человека с экологически чистыми видами энергии, крупнейший памятник солнечной энергии – «Солнечный ковчег» в Гифу (Япония). Огромная фотогальваническая система (заявленная максимальная мощность – 630 кВт) объединена с современным научным центром. В здании действуют «Музей солнечной энергии» и «Солнечная лаборатория», которая проводит симпозиумы и форумы для обсуждения проблем и обмена идеями (в сотрудничестве с Фондом науки Японии и международными организациями).

Общая длина конструкции – 315 м, высота – 31,6 м в центре и 37,1 м по краям, ширина – 13,7 м внизу и 4,6 м вверху, вес – 3000 т. Количество фотогальванических элементов – 5046, в тёмное время суток на фасаде включается 77200 красных, синих и зелёных светодиодов с компьютерным управлением. В комплексе действуют системы очистки воды и воздуха (перерабатывается 95 т углерода в год). «Солнечный ковчег» окружён своеобразным аквапарком, включающим в себя фонтаны и два водоёма, в каждом из которых имеется водопад (рис. 13) [18]. Внутреннее освещение комплекса осуществляется светильниками «*Solight*» (уникальные изделия, снабжённые компактным двигателем, управляемым посредством небольшой солнечной батареи), которые автоматически изменяют направление излучения в соответствии с движением Солнца по небосводу, который используется как источник естественного света в связи с отсутствием окон в ресторанах и других помещениях.

Рис. 11. Небоскрёб «Уоки-токи» (Лондон)

Рис. 12. Солнечная печь в Пиренеях (Франция)

Рис. 13. Памятник солнечной энергии «Солнечный ковчег» (Япония): *а* – фасад; *б* – общий вид

Поэтому важно отметить необходимость пересмотра привычных средств архитектуры с учётом достижений в других областях науки и техники, особенно по повышению комфортности и безопасности среды обитания, а также экономии финансовых затрат и энергоресурсов.

6. Заключение

Типология архитектуры пополняется новыми видами архитектурных

объектов, являющихся научно-технологическими знаменателями эпохи. Инновационные направления использования естественного света как важного компонента среды обитания в настоящей статье-обзоре представлены в контексте рассмотренных в ней концепций.

Концентрация и транспортировка естественного света (п. 2) связаны со сбором естественного света для изменения восприятия пространства в течение суток и по мере смены сезонов. Появляется также возможность естественного освещения подземных пространств. Изобретаются всё новые и новые способы сбора естественного света и создания «искусственного солнечного света» для устройства имитации реалистичного естественного освещения в закрытых помещениях.

Современные приёмы работы со светом в разных областях деятельности проявляются в *солнцезащите и управлении естественным светом* (п. 3), которые связаны с применением новых кинематических приёмов образования и функционирования архитектурных объектов, использующих инновационные подходы к работе со светом и проявляющихся в двух формах: статической и динамической. Это свидетельствует о необходимости пересмотра привычных средств архитектуры и расширения использования достижений в других областях науки и техники.

Альтернативные подходы к *организации световой среды архитектурных объектов* (п. 4) проявляются в творческих изысканиях современных архитекторов-«исследователей света, звука и пространства». Возникновение концепции «живого света» и тенденции использования *бионических* приёмов потребления максимального количества солнечной энергии в течение всего светового дня проявляется в разработках при создании архитектурных объектов, что связано с новым отношением к ценности окружающей среды, сохранению и сбережению энергии, повышению комфортности и безопасности обитания.

Представляет профессиональный интерес *энергетический потенциал естественного света* (п. 5) и возможности управления последним. Грамотное отношение к использованию естественного излучения было бы невозможно без соответствующих технических средств и развития высоких технологий, без применения экологических принципов в архитектуре.

Рассмотренные направления в использовании естественного света как важного компонента существования свидетельствуют о широте приёмов его проявления и многообразии средств его преобразования и регулирования. В связи с этим необходимо отметить, что приведённые примеры использования естественного света при формировании архитектурной среды возникли благодаря активно развивающимся многим областям знаний. Полученные результаты могут быть полезны для теории и практики формирования пространства обитания, открывая совершенно новые возможности в архитектуре. Это ставит задачу дальнейшего исследования совершенно новых приёмов работы с этим феноменом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нарбони Р., Николас В.* Ловушка света в вестибюле башни «*Eqho*» в квартале Дефанс (Париж) // Светотехника. – 2014.– № 4. – С. 70–72.

2. *Старостина А.* Ловушка для света. URL: http://www.archplatforma.ru/?act=1&nwid=3587 (дата обращения: 28.02.2018).

3. Дизайнер разработал искусственный «солнечный свет» *CoeLux*. URL: http://www.sveto-tekhnika.ru/ru/businessnews-3/pages/business/coelux (дата обращения: 11.03.2018).

4. Создана двумерная ловушка для света. URL: http://www.nanonewsnet.ru/news/2015/sozdana-dvumernaya-lovushka-dlya-sveta (дата обращения: 09.03.2018).

5. *Земцов В.А., Соловьёв А.К., Шмаров И.А.* Яркостные параметры стандартного неба МКО в расчётах естественного освещения помещений и их применение в различных светоклиматических условиях России // Светотехника. – 2016.– № 6. – С. 55–61.

6. *Дворецкий А.Т., Моргунова М.А., Сергейчук О.В., Спиридонов А.В.* Методы проектирования стационарных солнцезащитных устройств // Светотехника. – 2016.– № 6. – С. 43–47.

7. «Дождь света» под куполом Лувра Абу-Даби. URL: http://green-buildings.ru/ru/dozhd-sveta-pod-kupolom-luvra-abu-dabi (дата обращения: 11.03.2018).

8. Buildings Shield Themselves From Sunlight In The Most Unusual Way. URL: http://corevertical.com/Page/Buildings_Shield_Themselves_From_Sunlight_In_The_Most_Unusual_Way (дата обращения: 13.03.2018).

9. В Шанхае построили культурный центр с подвижным фасадом. URL: https://realt.onliner.by/2017/06/16/shanghai-4.

10. *Цехмистер Т.И.* Петер Цумтор. URL: http://book.uraic.ru/project/conf/txt/005/archvuz22_pril/33/template_article-ar=K41–60-k49.htm (дата обращения: 12.03.2018)/

11. *Юркина О.* Архитектура как поэзия света. URL: http://nashagazeta.ch/node/8419 (дата обращения: 11.03.2018).

12. Solar Loop – энергетически самообеспечивающийся павильон в нью-йоркском парке. URL: https://econet.kz/articles/2975-solar-loop-energeticheski-samoobespechivayuschiysya-pavilon-v-nyu-yorkskom-parke (дата обращения 10.03.2018)

13. *Айзенберг Ю.Б., Бухман Г.Б., Коробко А.А., Пятигорский В.М.* Несколько нереализованных конструктивных решений оптических схем и осветительных систем с полыми световодами // Светотехника.– 2016.– № 3. – С. 4–11.

14. *Аладов А.В., Бирючинский С.Б., Валюхов В.П., Загкейм А.Л., Тальнишних Н.А., Черняков А.Е.* Динамически управляемая система освещения светодиодами с широким диапазоном цветовых температур (2800–10000 *K*) и высоким качеством цветопередачи (Ra > 90) // Светотехника. – 2016.– № 6. – С. 19–25.

15. Убийственное солнце: Зеркало Третьего Рейха. URL: http://paranormal-news.ru/news/ubijstvennoe_solnce_zerkalo_tretego_rejkha/2013–04–03–6568?from=mirtesen (дата обращения: 11.03.2018).

16. Архитектура солнечного света. URL: http://turupupu.ru/?p=23942 (дата обращения: 13.03.2018).

17. Солнечная печь в Пиренеях. Зелёный источник высоких температур. URL: http://greenevolution.ru/multimedia/solnechnaya-pech-v-pireneyax-zelenyj-istochnik-vysokix-temperatur/ (дата обращения: 11.03.2018).

18. Sanyo Solar Ark – крупнейший в мире памятник энергии Солнца. URL: http://www.membrana.ru/articles/technic/2004/02/27/213200.html (дата обращения 11.03.2018).

Сапрыкина Наталия Алексеевна, *доктор архитектуры, профессор. Окончила в 1970 г. МАРХИ. Зав. кафедрой «Основы архитектурного проектирования» МАРХИ (ГА). Заслуженный архитектор РФ. Почётный член РААСН и член Московского союза архитекторов*

interlight
MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка светотехники,
электротехники, LED-технологий и компонентов

6–9 ноября 2018
ЦВК «Экспоцентр»
Москва

Светотехника

Компоненты | **NEW!**

Электротехника

Электрические лампы

LED-технологии

Автоматизация зданий /
Умный дом

Получите бесплатный билет на сайте
www.interlight-moscow.ru

messe frankfurt

О влиянии характеристик помещения на ручное управление освещением[1]

А.Ч. КУНДАРАЧИ[1,4], Т. КАЗАНАСМАЦ[2], Т. ХОРДИЖК[3]

[1] Университет Яшар, Измир, Турция
[2] Измирский технический институт, Измир, Турция
[3] Делфтский университет, Делфт, Нидерланды
[4] Email: arzu.cilasun@yasar.edu.tr

Аннотация

Углублённое понимание потребностей и поведения работающих в зданиях людей может привести к уменьшению расходуемой на освещение энергии. В данной работе исследовалось, как количество людей в помещении и его планировка влияют на ручное управление освещением (РУО) офисов. При этом использовался разделённый на несколько частей вопросник, направленный на выяснение того, как на РУО влияют возможные интерьерные решения, такие как положение письменного стола, цвета поверхностей, расстояние от окна, расстояние между столом и выключателем. Исследование поведения участников в части РУО осуществлялось также с использованием сделанных в разное время фотографий помещений, имеющих разную планировку и разные цвета поверхностей. Для выявления существенных причин, которые могут привести к менее частому РУО, использовались статистические методы. Планировка помещения, расстояние от окна, время дня и количество людей в офисе наиболее сильно влияют на РУО. Учёт этих факторов позволит уменьшить количество расходуемой на освещение энергии при одновременном увеличении удовлетворённости пользователей.

Ключевые слова: энергия, расходуемая на освещение, ручное управление освещением, планировка помещения, поведение пользователя.

1. Введение

Поведение пользователей – это действия, подразумевающие присутствие пользователей и способ, которым они осуществляют свою деятельность внутри здания [1, 2]. Одним из возможных способов уменьшения количества расходуемой на освещение электроэнергии стало осуществляемое пользователями управление осветительными установками, которое влияет на полное энергопотребление [3–5]. Ручное управление освещением (РУО), которое является одной из сторон поведения пользователей, – это включение/выключение освещения пользователями без участия каких бы то ни было автоматизированных систем управления.

РУО рассматривалось только в нескольких исследованиях поведения пользователей [6]. Обзор литературных данных о существующих моделях поведения пользователей применительно к РУО содержится в [7]. В этой работе были выделены модели Ханта (*Hunt*) и Ньюшэма (*Newsham*), позволяющие определить вероятности включения/выключения света в предположении, что потребители управляют освещением два раза в день (после прихода и перед уходом) и что естественное освещение играет большую роль в принятии решения о включении света [7, 8]. Однако в этих моделях не учитывается включение/выключение света в течение рабочего дня, например, при уходе на обед или на небольшие перерывы [7]. В [9] было показано, что вероятность выключения света прямо пропорциональна времени отсутствия людей в помещении. В [6, 10] упоминались исследования «активности» и «пассивности» пользователей, основанные на их функциональных особенностях и динамической реакции на кратковременные изменения условий освещения. Активными считались те пользователи, которые стремятся к оптимальному использованию естественного освещения, управляют в течение дня как искусственным освещением, так и средствами защиты от дневного света, а пассивными – те пользователи, которые в течение дня не предпринимают никаких действий по управлению освещением [10, 11]. В проведённом недавно исследовании, поведение пользователей в части управления освещением рассматривалось в связи с расходуемой на освещение электроэнергией и временем включения света в офисах. Согласно полученным результатам, пользователей можно было считать активными, а их отношение к освещённости довольно заинтересованным [5]. Двумя ключевыми моментами были естественная освещённость и время отсутствия, а пользователи были разделены на пассивных и активных в соответствии с их поведением. При этом существенное значение имеют и приходы и уходы людей во время их нахождения в здании.

Известно, что особенности интерьера применительно к РУО не рассматривались. Например, до сих пор не исследовалась связь между РУО и положением стола пользователя и его расстоянием от окна (которые влияют на направление, с которого дневной свет попадает в окрестности стола). Кроме того, хотя естественная освещённость оказывает сильное влияние на включение и выключение света, связь между площадью окна, расстоянием от окна и цветами поверхностей помещения (стен, потолка и пола), от которых зависит уровень освещённости, и РУО до сих пор не рассматривалась. Следует также рассмотреть факторы, способствующие или препятствующие осуществлению РУО (то есть включению и выключению света), так как находящиеся в помещениях люди имеют самые разные предпочтения в части освещённости. Если понять связь между особенностями интерьера и ожиданиями и предпочтениями пользователей, а также подоплёку их поведения, то РУО можно сделать более эффективным.

При наличии таких знаний, проект интерьера сможет сыграть активную роль в энергосбережении или увеличении степени осуществления РУО. Углублённое изучение не только условий освещения и управления им, но и всех многообразных действий пользователей, позволит осуществлять более полное моделирование при прогнозировании энергопотребления.

Целью данного исследования являлось изучение влияния заполненности и особенностей интерьера офиса на осуществление РУО, с тем чтобы собрать данные о поведении пользователей в части РУО. Исследования

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

предусматривали использование вопросника, на который попросили ответить преподавателей университета в г. Измире, Турция. В вопроснике были рассмотрены пространственные, зрительные и контекстуальные факторы, влияющие на поведение пользователей. В рамках данного исследования предполагалось найти ответы на два вопроса:

1. Влияют ли особенностями интерьера помещения (например, положение стола, расстояние от окна, расстояние от выключателя, цвета поверхностей и ориентация пользователя) на РУО?

2. Как заполненность помещения (продолжительности периодов присутствия и отсутствия людей) влияет на частоту осуществления РУО?

2. План обследования

Состоящий из нескольких разделов вопросник был разработан для описания обстановки, в которой работают участники опроса, и того, как они осуществляют РУО своего офиса. Учитывая, что ограниченное попадание в помещение естественного света может способствовать реализации РУО, опрос был произведён в зимнее время, а именно, в феврале 2015 г. Участники были ограничены во времени одним месяцем, применительно к которому они должны были давать ответы на вопросы, такие как: *как бы Вы описали: наличие естественного освещения в вашем офисе за последний месяц / количество света в рабочей зоне с точки зрения выполняемой Вами в последний месяц работы, …*

В опросе участвовали преподаватели, использующие офисы университета, расположенного в г. Измире. Так как преподаватели читают лекции, проводят семинарские занятия и участвуют в совещаниях, то на протяжении дня они часто входят в свои офисы и выходят из них, что позволяет рассмотреть самые разные варианты их поведения. Приглашения для участия в обследовании были разосланы по электронной почте. 125 человек (из них 60,8 % женщин и 39,2 % мужчин, 85 % из которых были моложе 36-ти лет) из равного 398-ми человекам общего количества приглашённых (примерно 30 %) добровольно предоставили заполненные вопросники через домен вопросников, в котором производятся статистические оценки.

Вопросник включал в себя вопросы разного типа, такие как вопросы с несколькими вариантами ответа, вопросы, оцениваемые по шкале Лайкерта, и вопросы типа «да–нет». Он состоял из пяти разделов, подробное описание которых приведено ниже.

Первый раздел вопросника относился к интерьерным/физическим особенностям занимаемого участником офиса и был направлен на выявление связи между зрительной удовлетворённостью участника и осуществляемым им РУО, сведения о котором дают ответы на вопросы, содержащиеся в других разделах. Он содержал 9 вопросов с несколькими вариантами ответов, например, о количестве людей, работающих в офисе, ориентации помещения, общей площади окон и т.д. Следующие два вопроса были связаны с условиями работы в офисе. Информация о расстоянии между столом и окном (меньше чем 1 м, 1–2 м, 2–5 м, больше чем 5 м) помогает интерпретировать пользу, которую респондент получает от дневного света, доходящего до его рабочего места. Данные о планировке помещения (т.е. где – слева, справа, сзади, спереди или в другом направлении от сидящего человека – находится окно) позволяют понять, с какого направления поступает дневной свет. Кроме того, естественная освещённость на поверхности стола может позволить провести оценку зрительной среды, которая зависит от направления взгляда человека (схема «лицом к окну» или схема «лицом к стене»). Участников также просили отметить, страдают они от воздействия блёскости или нет.

Второй раздел вопросника был посвящён раздельной оценке удовлетворённости наличием естественного освещения и искусственным освещением в формате 5-уровневой оценки по шкале Лайкерта, где 1 означало полную неудовлетворённость, 2 – неудовлетворённость, 3 – среднюю удовлетворённость, 4 – удовлетворённость, 5 – полную удовлетворённость. Для получения информации о том, как участники оценивают количество света в помещении, на столе и на экране компьютера, использовалась семантическая шкала, простирающаяся от –2 (слишком темно) до +2 (чрезмерно светло), у которой 0 соответствовал нужному количеству света. Кроме того, участников просили описать свои задачи (такие как работа на компьютере, чтение или письмо) и то, как часто они их выполняют, используя для этого пять вариантов. Шкала, по которой оценивалась частота, состояла из пяти категорий, таких как: 1 – постоянно, 2 – довольно часто, 3 – иногда, 3 – редко и 5 – никогда.

Вопросы третьего раздела относились к тому, как обычно осуществлялось РУО, и почему это происходило именно так. Для понимания того, как участники осуществляли РУО, сначала их просили описать, как часто они осуществляли это управление на протяжении дня. Затем они должны были ответить на четыре группы вопросов о причинах, способствующих или препятствующих применению РУО, и об обстоятельствах, влияющих на их решение включить или выключить свет (таких как потребность в зрительном комфорте, обозначение своего присутствия, просьбы коллег, создание атмосферы и т.д.), которые оценивались по шкале Лайкерта, от 1 (всегда) до 5 (никогда). По шкале Лайкерта оценивались и все приведённые на рис. 1 ответы. Для оценки того, какие причины наиболее сильно влияют на частоту изменений условий освещения, был использован регрессивный анализ. Каждая группа ответов была проверена на значимость для частоты применения РУО при уровне значимости 0,05. Помимо того, что каждый из ответов рассматривался отдельно, их ещё и объединяли в группы, и определяли соответствующие агрегированные показатели.

Четвёртый раздел состоял из вопросов о субъективной оценке участниками текущей планировки их офисов и о том, смогут ли какие-нибудь изменения интерьера повлиять на осуществляемое ими РУО. Для выяснения того, что думают по этим поводам участники, лучше всего подходят вопросы, предусматривающие стереотипные альтернативные ответы. Первый вопрос, ответ на который оценивался по 5-балльной шкале Лейкарта, был сформулирован следующим образом: «как Вы оцениваете следующие особенности интерьера применительно к частоте осуществления Вами РУО?», и состоял из следующих пунктов: *расположение Вашего стола*, *расстояние между Вашим столом и окном*, *площадь окна*, *ориентация окна*, *цвета имеющихся в помещении поверхностей или предметов*, *расстояние между выключателем и Ва-*

2. Оцените, пожалуйста, следующие причины, по которым Вы управляете вручную светильниками/осветительными установками

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Для обеспечения зрительного комфорта					
Для экономии энергии					
Для обозначения своего присутствия/отсутствия					
По просьбам коллег					
Для обеспечения комфортной температуры					
Для работы на компьютере					
Для чтения печатного текста					
Для восполнения естественного освещения					
Для создания рабочей атмосферы					

(а)

3. Какие причины мешают Вам управлять вручную светильниками/осветительными установками

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Предпочтения моих коллег					
Необходимость оставаться сосредоточенным на моей работе					
Я нахожусь слишком далеко от выключателя					
Меня не волнует уровень освещённости в помещении					
Я не замечаю изменений уровня освещённости					

(б)

4. Как перечисленные ниже факторы влияют на Ваше решение включить свет вручную сразу после прихода

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Если в помещении темно					
Для обозначения своего присутствия					
Предпочитаю работать при искусственном освещении					
Обычно естественного освещения недостаточно на протяжении всего дня					

(в)

5. Как перечисленные ниже факторы влияют на Ваше решение не включать свет вручную в течение нормального рабочего дня

	Никогда	Редко	Изредка	Обычно	Всегда
Чтобы избежать избыточного освещения и блёскости					
Для обозначения своего отсутствия					
Я не замечаю, включён свет или нет					
Расположение выключателя					

(г)

Рис. 1. Факторы, влияющие на РУО: (а) причины применения РУО; (б) препятствующие факторы; (в) способствующие факторы; (г) причины не включать свет вручную

шим столом. Второй вопрос служил для выяснения того, до какой степени участники согласны с утверждением, которое начиналось словами «я начну чаще использовать РУО, если», за которыми следовали варианты: *изменится местоположение моего стола относительно окна, уменьшится расстояние между моим столом и окном, увеличится площадь окна, изменится ориентация окна, изменится цвет предметов/поверхностей/помещения, уменьшится расстояние между моим столом и выключателем*. Ответы предусматривали оценку по шкале от 1 (согласен) до 5 (не согласен).

Для выяснения реакции участников на изменения цвета поверхностей и времени суток *в пятом разделе* использовались фотографии и вопросы с ответами да-нет. Эти вопросы задавались применительно к изготовленной в масштабе 1:5 модели личного кабинета (3,6 × 5,4 × 2,7 м) [12]. Эта модель (рис. 2) использовалась для фотографического отображения разных вариантов. Для предотвращения появления возможных оптических иллюзий и обеспечения сбалансированного яркостного контраста, в программе *Photoshop* регулировали экспозиции. На всём протяжении опроса участники использовали один и тот же тот же экран, что позволило избежать различий в зрительном восприятии.

Поверхности внутри помещения вначале были закрыты тёмной бумагой (коэффициенты отражения (ρ) стен и потолка были равны, соответственно, 0,50 и 0,20), а затем светлой бумагой (ρ = 0,85 и 0,50 соответственно). Коэффициенты отражения определялись при помощи диска с известным коэффициентом отражения 92,5 %. Уменьшенная модель помещалась перед выходящим на север окном в Делфском техническом университете (52^0 00' с.ш, 4^0 37' в.д.). Фотографирование производилось 21 декабря 2014 г. при помощи цифровой камеры с объективом типа «рыбий глаз». Северное направление было выбрано во избежание больших различий в контрасте и зрительного дискомфорта из-за наличия прямого солнечного света. Диффузное естественное освещение обеспечивало относительно сбалансированное распределение естественной освещённости в течение всего дня.

Уменьшенную модель фотографировали три раза в течение одного дня: утром (9:00–9:30), днём после обеда (13:00–13:30) и в послеполуденное время после короткого перерыва (15:00–15:30). Глядя на фотографии, сделанные в эти три промежутка времени, участники должны были назвать свои действия в части РУО. На основании отображённой на фотографии зрительной среды они говорили о своём решении включить или не включать свет после входа в помещение. Зависимость принятых ими решений по управлению светом от расстояния от окна, положения стола или времени суток была проанализирована при помощи кросс-табуляции и критерия хи-квадрат.

Рис. 2. Уменьшенная модель помещения (слева) и фотографии с расположением к окну спиной или лицом (справа вверху) или левым или правым боком (справа внизу)

3. Результаты обследования

Что касается вопросов о существующей обстановке, то 26, 17, 24 и 32 % участников занимали личные кабинеты, офисы на 2–3-х человек, офисы на 4–5-х человек и офисы с большим количеством работников соответственно. 51,2 % офисов имели площадь окон от 15 до 30 м^2, тогда как 16 % офисов имели площадь окон, меньшую чем 15 м^2, и у 32,8 % офисов площадь окон превышала 30 м^2. Большая часть помещений выходили на север (20,8 %), тогда как на другие стороны света выходили от 1,6 до 16,8 % помещений. У 40,8 % участников столы располагались на расстоянии от 1 до 2 м от окон, тогда как 31,2 % участников заявили, что от них до окна меньше чем 1 м. Большая часть участников не страдают от воздействия блёскости в своих офисах (92 %).

На вопрос о том, как они оценивают степень своей удовлетворённости искусственным освещением в офисе, набольшее количество ответов «удовлетворительное» было получено от участников, которые работают в личных кабинетах или в офисах на 2–4-х человек (такую оценку дали по 80 % участников). Участники, которые работают в офисах на 5 и более человек, чаще всего давали ответ «неудовлетворительное». Типы установок искусственного освещения не рассматривались из-за широкого ассортимента ламп и светильников и того обстоятельства, что респонденты могли и не суметь описать существующую установку. При этом пользователи чаще всего считали, что уровень освещённости превышает тот, который они хотели бы иметь (80 %). Этот результат можно понимать так, что если бы они имели возможность управлять освещением индивидуально, то предпочли бы более низкий уровень освещённости, что привело бы к уменьшению энергопотребления. Это согласуется с результатами исследования [13], согласно которым индивидуальное управление освещением приводит к экономии энергии, так как всегда есть люди, предпочитающие уровни освещённости, меньшие чем заданные. Этот результат может оказаться полезным для архитекторов, подталкивая их тому, чтобы ради экономии энергии они предусматривали офисы на от 1-го до 3–4-х человек. В случае многолюдных офисов имеется другая возможность: обеспечение персонального зрительного комфорта для каждого человеку, освещая каждый из столов индивидуально.

Почти 55 % респондентов, офисы которых выходили на север, были удовлетворены условиями естественного освещения своих рабочих пространств, выбрав в вопроснике ответ «4 – очень удовлетворён». Сходная оценка удовлетворённости была получена в случае офисов, выходящих на северо-восток. Что касается ответов, связанных с расположением столов,

то при окне слева удовлетворённость была наибольшей (примерно 50 % ответов), тогда как при расположении спиной к окну она оказалась наименьшей (примерно 30 % ответов). Так как площадь окна рассматривалась с точки зрения удовлетворения потребности в естественном освещении, то наибольшая удовлетворённость (42 %) имела место при площади окна от 2 до 5 м^2. Ответы участников подтвердили, что те, чьи столы удалены от окон на расстояние, превышающее 5 м, считают естественное освещение недостаточным, тогда как участники, столы которых расположены на расстоянии 1–2 м от окна, в большинстве своём считали естественное освещение достаточным.

Для выяснения того, зависит ли удовлетворённость естественным освещением от ориентации, положения стола, площади окон и расстояния до них, или нет, были использованы критерий хи-квадрат и кросс-табуляция при равном 5 % уровне значимости ($\alpha = 0{,}05$). Удовлетворённость естественным освещением оказалась зависящей только от двух факторов: площади окна и расстоянии от окна. Результаты, говорящие о независимости удовлетворённости участников естественным освещением от ориентации и положения стола, приведены в таблице.

Респонденты должны были сформулировать своё отношение к каждой из предложенных им мер, направленных на увеличение степени осуществления ими РУО. Из факторов, способных увеличить степень осуществления РУО, наиболее часто назывались ориентация окна (81 %) и увеличение его площади (79 %). Другими важными возможностями изменения степени осуществления РУО респонденты сочли уменьшение расстояния между столом и окном (всегда – 31 %, обычно – 43 %), изменение цвета поверхностей (всегда – 22 %, обычно – 29 %) и изменение положения стола (всегда – 37 %, обычно – 32 %), тогда как расстояние между столом и выключателем (всегда – 11 %, обычно – 14 %) оказалось наименее важным. В то же время, мнения пользователей о том, как перечисленные выше изменения могут повлиять на осуществление ими РУО, не согласуются с их ответами по поводу удовлетворённости естественным освещением в реальных условиях их работы.

Почти 57 % участников осуществляют РУО несколько раз в день в зависимости от своего присутствия в помещении или наличия естественного освещения. Они включают и выключают свет не только при приходе и уходе, вследствие чего их отнесли к категории активных пользователей. 21 % участников заявили, что они используют РУО два раза в день (только когда входят в офис в начале дня и покидают его в конце дня), тогда как 9 % утверждали, что они управляют светом не только при приходе в офис утром и уходе из него вечером, но и при уходе на обед и перерывы и при возвращении после них. При этом 13 % участников отметили, что обычно они не осуществляют РУО. Так что 34 % участников можно отнести к категории пассивных пользователей. Приведённые выше данные говорят о том, что используемое в исследованиях и моделях допущение, согласно которому всех пользователей можно считать пассивными, не соответствует действительности. Данное исследование говорит о необходимости исходить из реального поведения пользователей.

Большинство участников (соответственно, 39 и 40 %) заявили, что основной причиной осуществления ими РУО служит желание обеспечить зрительный комфорт и создать благоприятную рабочую атмосферу, то есть, другими словами, желание выполнять свою работу. Экономия энергии была второй по значимости личной причиной осуществления РУО (21 %). 52 и, соответственно, 20 % участников никак или почти никак не связывали осуществление ими РУО с желанием обозначить своё присутствие или отсутствие. Ответы на вопросы, связанные с работой на компьютере и чтением печатного текста, оказались очень схожими, так что ни один из этих видов деятельности не влиял на осуществление РУО сильнее, чем другой. Почти 27 % участников никогда не учитывают потребности своих коллег при управлении освещением, тогда как 32 % участников включают и выключают свет по просьбам своих коллег, даже если сами в этом не нуждаются. Так что индивидуальное управление освещением для каждого из рабочих мест может оказаться хорошим способом обеспечения зрительного комфорта.

Что касается того, как перечисленные в вопроснике причины влияют на РУО (см. выше описание третьего раздела вопросника, где говорится об агрегированном показателе для группы в целом), то полученные значения R^2 оказались довольно низкими: 0,12 для группы, указанной на рис. 1а, 0,04 для группы на рис. 1б и 0,04 для группы на рис. 1в, причём показатели значимости F и p превышали 0,05. Так что результаты не могут считаться надёжными, и количество существенных причин уменьшается: только две причины, а именно, обеспечение зрительного комфорта ($F = 0{,}002$, $p = 0{,}002$) и создание рабочей атмосферы ($F = 0{,}002$, $p = 0{,}001$) оказались значимо связанными с РУО при R^2, почти равном 0,10. Это означает, что мы можем объяснить/спрогнозировать 10 % наблюдавшегося разброса данных. Например, зрительный комфорт сам по себе может повлиять на РУО, но не очень сильно. Это понятно и разумно, так как решение осуществить РУО принимает человек, и на него могут повлиять многие другие факторы, часть из которых спрогнозировать невозможно. Единственной существенной причиной ($F = 0{,}042$, $p = 0{,}04$),

по которой пользователи могут воздержаться от осуществления РУО, является то, что они не замечают изменений освещённости.

Почти 72 % респондентов считают, что изменение планировки помещения может существенным образом повлиять на осуществление ими РУО. Соответственно, площадь окна (всегда – 39 %, обычно – 40 %), его ориентация (всегда – 37 %, обычно – 44 %), положение стола (всегда – 37 %, обычно – 32 %), и расстояние от окна (всегда – 31 %, обычно – 43 %) оказывают сильное влияние на РУО, тогда как расстояние между столом и выключателем (редко – 18 %, никогда – 40 %) оказалось наименее действенным фактором. Что касается цвета поверхностей, то, судя по ответам, он не оказывает сколь-нибудь существенного влияние на РУО.

Для того, чтобы понять реакцию участников на положение стола, расстояние от окна, цвет стен и время суток, их попросили оценить фотографии нескольких вариантов компоновки уменьшенной модели. Эти оценки состояли в выборе одного из двух вариантов: «Я бы включил свет» и «Я бы не стал включать свет». Для

более глубокого понимания того, зависит РУО от вышеупомянутых особенностей помещения или нет, был использован критерий независимости хи-квадрат.

Вначале было проведено сравнение зависимости РУО от расстояния от окна (*A* или *B*). Если стол располагался в положении «спиной к окну» и все поверхности были светлыми, то ответы на указанные выше вопросы практически не зависели от расстояния от окна. После прихода с обеда количество ответов, что респонденты включили бы свет, при отодвигании стола от окна в положение *B* уменьшилось с 36 до 32,8 %. После «послеполуденного перерыва» отношение к осуществлению РУО оказалось иным. Количество ответов, что респонденты включили бы свет, при отодвигании стола от окна в положение *B* увеличилось с 32,8 до 40,8 %. Если стол располагался в положении «лицом к окну», то примерно 88–96 % респондентов предпочитали не включать свет на всём протяжении дня. Утром при перемещении стола к задней стене в положение *B* наблюдался сильный спад количества решений не включать свет (с 11 до 2,41 %).

Для статистической оценки того, существует ли какая-то значимая связь между расстоянием и включением или выключением света, использовались кросс-табуляция и критерий хи-квадрат. Для разного времени суток (утро, обеденное время и послеполуденное время) были подробно рассмотрены все варианты планировки и цвета. Результаты 24-х кросс-табуляций, выполненных по-отдельности для каждого времени суток (утро, обед, послеполуденный перерыв), говорят о том, что включение и выключение света зависит от расстояния от окна, так как во всех случаях значения *p* оказались меньшими чем $\alpha = 0{,}05$ ($p = 0{,}000$), за исключением перемещения стола, находящегося в положении «окно слева», из А в В ($\chi^2 = 2{,}65$; $df = 1$; $p = 0{,}104$).

При сравнении относящихся к РУО ответов, полученных в случаях «спиной к окну» и «лицом к окну», существенные различия имели место во все моменты времени (утро, обед, послеполуденный перерыв). Например, при входе в помещение утром ответ «включу свет» был получен в 57,6 % случаев в варианте «спиной к окну, положение *B*, светлые стены», тогда как в варианте «лицом к окну, положение *B,* светлые стены» количество таких ответов в этих же условиях уменьшилось до 2,41 %. Аналогичные результаты были получены применительно к входу в помещение утром и вариантам «спиной к окну, положение *A*, тёмные стены» и «лицом к окну, положение *A,* тёмные стены». В варианте «спиной к окну, положение *A*» ответы «не включу свет» составляли 8 %, тогда как в варианте «лицом к окну, положение *A*» их количество возросло до 84 %. Однако в вариантах «окно справа» и «окно слева» ответы на эти вопросы отличались друг от друга не так сильно, как в вариантах «окно сзади» и «окно спереди». Например, после обеда на «не включу свет» в варианте «окно слева, положение *A*, тёмные стены» приходилось 87,2 % ответов, тогда как в варианте «окно справа, положение *A*, тёмные стены» количество таких ответов уменьшилось до 45,6 %. Согласно полученным очень низким значениям *p* ($p < 0{,}001$), критерий хи-квадрат и кросс-табуляция выявили зависимость осуществления РУО от положения стола, за исключением вариантов «лицом-спиной к окну, положение *B*» при входе в помещение утром и после обеда ($\chi^2 = 2{,}30$; $df = 1$; $p = 0{,}129$ и $\chi^2 = 3{,}34$; $df = 1$; $p = 0{,}067$ соответственно) и «лицом-спиной к окну, положение *A*, тёмные стены» утром ($\chi^2 = 0{,}29$; $df = 1$; $p = 0{,}589$).

Таблица

Результаты, полученные применительно к распределению хи-квадрат

	Критерий Пирсона (критерий χ^2)	Значение *p*	Вывод
Ориентация	33,267	0,405	Не влияет
Положение письменного стола	10,588	0,834	Не влияет
Площадь окна	18,407	0,018	Влияет
Расстояние от окна	24,024	0,020	Влияет

Такие результаты имеют большое значение не только для проектов интерьеров, но и для увеличения возможностей в части оценки рабочих помещений на предмет естественного освещения и энергоэффективности. Положения столов пользователей могут выступать в роли некой значимой переменной или постоянной при проведении расчётов параметров освещения или энергоэффективности. Кроме того, персональные моменты могут помочь лучше понять проблемы, связанные с освещением рабочих помещений. В рамках дальнейших исследований можно подробно проанализировать, до какой степени удовлетворённость левши, у которого источник дневного света находится слева, отличается от удовлетворённости правши в этих же условиях, и каковы потребление или экономия энергии в обоих этих случаях.

Для понимания того, влияет ли время суток на осуществление РУО, фотографии делали в три разных момента времени (утром, в обеденное время и во время послеполуденного перерыва). Придя на работу утром, пользователи чаще всего стараются включить свет при любых положении стола и цвете стен. Например, в варианте «окно слева, положение *A,* светлые стены» количество ответов «включу свет» составило 65,85 %, тогда как после обеда и во время послеполуденного перерыва эта цифра уменьшилась до 4,8 и 4 % соответственно. Результаты, полученные применительно к послеобеденному времени и послеполуденному перерыву, ближе друг к другу, чем к результатам, полученным применительно к утреннему времени. Критерий независимости хи-квадрат, который был использован применительно к 48-ми кросс-табуляциям, подтвердил наличие существенной зависимости осуществления РУО от времени суток. Значимо низкие значения *p* изменялись в пределах от 0,000 до 0,003. Однако некоторые результаты, например, связь между утренними и обеденными данными для варианта «окно слева, положение *A*, светлые стены» ($\chi^2 = 3{,}27$; $df = 1$; $p = 0{,}070$ и) и между утренними и послеполуденными данными для варианта «окно слева, положение *A*, светлые стены» ($\chi^2 = 0{,}46$; $df = 1$; $p = 0{,}496$), демон-

стрируют независимость с большими значениями *p*.

4. Обсуждение и выводы

Целью данной работы была проведённая применительно к офисам университета статистическая оценка вклада ряда факторов (интерьерных и связанных с загруженностью помещений) на осуществление РУО и удобство для пользователей. Исследование связи между физическими особенностями окружающей среды и удовлетворённостью условиями естественного освещения показали, что из всех рассмотренных параметров наиболее значимыми с точки зрения удовлетворённости естественным освещением являются площадь окна и расстояние до него. С другой стороны, было установлено, что ни ориентация, ни расположение стола не оказывают статистически значимого влияния на удовлетворённость естественным освещением.

Было получено несколько результатов, важных с точки зрения осуществление РУО. В частности, ориентация на север или северо-восток, равная 2–5 м^2 площадь окна и равное 1–2 м расстояние от окна оказались достаточными для обеспечения хорошего естественного освещения. Такое освещение приведёт к увеличению количества людей, не включающий свет при входе в помещение. Ответы на вопросы показали, что большинство участников можно было отнести к категории «активный пользователь», так как они не только включали свет, входя в помещение утром, и выключали его, уходя из помещения в конце рабочего дня, что соответствует определению, приведённому в [10], но и часто включали и выключали свет в течение рабочего дня. Эти результаты не согласуются с европейскими стандартами, в которых значение показателя ручного управления освещением (*manual control factor*) (показателя заполняемости помещения (*occupancy dependency factor*)) считается равным 1 (а это означает, что свет включён на всём протяжении рабочего дня, а пользователи пассивны, т.е. вообще не используют РУО во время работы) [14]. Отмеченное в данной работе активное поведение пользователей может внести большой вклад в экономию энергии, однако полученные результаты не позволяют определить размеры этой экономии. Можно предложить проведение дополнительных исследований зависимости экономии энергии от поведения пользователей. Существенное влияние на включение и выключение света оказывает потребность в обеспечении зрительного комфорта и создании благоприятной атмосферы, тогда как соображения, связанные с экономией энергии, имеют гораздо меньшее значение. Интересно было осознать, что озабоченность экономией энергии оказалась гораздо менее значимым фактором, чем стремление к комфорту. Причиной такого отношения может быть отсутствие у пользователей информации о количестве потребляемой ими энергии, вследствие чего они расходуют энергию неосознанно, что и было отмечено в [15].

Проведённый анализ показал, что сильнейшей побудительной причиной осуществления РУО является внутренняя планировка помещения (расположение столов). Например, размещение стола около окна (в положении *A*) и/или так, чтобы пользователь сидел лицом к окну, приведёт к менее частому включению и выключению света. Эти факторы оказывали существенное влияние во все рассмотренные моменты времени. Эти результаты аналогичны полученным в [16], где было установлено, что планировка помещения влияет на поведение пользователей. Осуществление РУО зависит от изменений естественной освещённости. Если естественной освещённости недостаточно (особенно утром), то это вынуждает пользователей включать свет, входя в помещение утром. Так что естественную освещённость следует учитывать при прогнозировании количества энергии, расходуемой на освещение.

Не следует недооценивать вклад пользователей в экономию энергии. Данное исследование было направлено на увеличения объёма знаний о том, как потребители расходуют энергию, для чего были выявлены факторы, способные повлиять на РУО, и проанализирована степень их влияния. Приведённые результаты, касающиеся частоты осуществления РУО и факторов, способствующих или препятствующих включению и выключению света, могут использоваться в качестве входных данных при проектировании экологичных офисов без автоматизированных систем управления освещением. Кроме того, это исследование позволило лучше понять предпочтения пользователей и осуществляемое ими РУО, а также указать, как реально включить предпочтения пользователей в модели их поведения. Для создания энергоэффективных зданий требуется более углублённое понимание поведения пользователей с учётом характеристик помещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hoes, P., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C., de Vries, B., Bourgeois, D.* User Behavior in Whole Building Simulation // Energy and Buildings. – 2009. – Vol. 41, No. 3. – P. 295–302.

2. *Mahdavi, A., Pröglhöf, C.* User Behavior and Energy Performance in Buildings // 6th Int. Energiewirtschaftstagung IEWT 2009, TU Wien, 2009. – P. 1–13.

3. *Tetlow, R.M., Beaman, C.P., Elmualim, A.A., Couling, K.* Simple Prompts Reduce Inadvertent Energy Consumption from Lighting in Office Buildings // Building & Environment. – 2014. – Vol. 81. – P. 234–242.

4. *Yang, L., Yan, H., Lam. J.* Thermal Comfort and Building Energy Consumption Implications – A Review // Applied Energy. – 2014. – Vol. 115. – P. 164–173.

5. *Yun, G.Y., Kim, H.,. Kim, J.T, Kong, H.J. E*ffects of Occupancy and Lighting Use Patterns on Lighting Energy Consumption // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 46. – P. 152–58.

6. *Bourgeois, D., Reinhart, C., Macdonald. I.A.* Assessing the Total Energy Impact of Occupant Behavioural Response to Manual and Automated Lighting Systems // 9th Int. IBPSA Conf., Montreal, Canada, 2005. – P. 99–106.

7. *Reinhart, C.F. L*ightswitch-2002: A Model for Manual and Automated Control of Electric Lighting and Blinds A Versio // Solar Energy. – 2004. – Vol. 77. – P. 15–28.

8. *Hunt, D.R.G.* The Use of Artificial Lighting in Relation to Daylight Levels and Occupancy // Building and Environment. – 1979. – Vol. 14. – P. 21–33.

9. *Pigg, S., Eilers, M., Reed. J.* Behavioral Aspects of Lighting and Occupancy Sensors in Privates Offices: A Case Study of a University Office Building // ACEEE1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1996. – P. 161–70.

10. *Love, J.A.* Manual Switching Patterns in Private Offices // Lighting Research & Technology. – 1998. – Vol. 30. – P. 45–50.

11. *Bourgeois, D., Reinhart, C., Macdonald, I.* Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: A study on the total energy impact of manual and automated lighting control // Energy and Buildings. – 2006. – Vol. 38. – P. 814–823.

12. *Hellinga, H.* Daylight and View: The Influence of Windows on the Visual Quali-

ty of Indoor Spaces // Technische Universiteit Delft, 2013.

13. *Gu, Y.* The Impacts of Real-Time Knowledge Based Personal Lighting Control on Energy Consumption, User Satisfaction and Task Performance in Offices // Carnegie Mellon University, 2011.

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

15. *Toth, N., Little, L., Read, J.C., Fitton, D., Horton, M.* Understanding Teen Attitudes towards Energy Consumption // Journal of Environmental Psychology. – 2013. – Vol. 34. – P. 36–44.

16. *Thorndike, A.N., Sonnenberg, L., Riis, J., Barraclough, S., Levy, D.E.* A 2-Phase Labeling and Choice Architecture Intervention to Improve Healthy Food and Beverage Choices // American Journal of Public Health. – 2012. – Vol. 102. – P. 527–33.

Арзу Чилазун Кундурачи (Arzu Cilasun Kunduraci), *Ph.D. Доцент Университета Яшар. Имеет 7-летний опыт преподавательской работы в области проектирования архитектурной подсветки, архитектуры и проектирования систем искусственного климата*

Тугче Казанасмаз (Tuğçe Kazanasmaz), *Ph.D. Профессор кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 18-летний опыт преподавательской работы в области архитектурной подсветки, физики зданий и энергоэффективного проектирования*

Г. Дж. Труус Хордижк (G.J. Truus Hordijk), *Ph.D. Доцент архитектурного факультета Делфского технического университета. Имеет 31-летний опыт преподавательской работы в области физики зданий*

Световое оформление стелы «Триумф Российского флота»

СПб ГУП «Ленсвет» завершило настройку оборудования архитектурно-художественного освещениянового монумента «Триумф Российского флота», установленного на Якорной площади в Кронштадте.

Для оформления светом мозаичного панно применены восемь узконаправленных прожекторов со светодиодами мощностью 135 Вт и 155 Вт, размещённых на четырех фигурных опорах наружного освещения вокруг стелы. Каждый прожектор «отвечае»т за свою часть освещения, а вместе они создают единую световую композицию освещения стелы.

Памятный знак представляет собой мозаичное воспроизведение картины народного художника Василия Нестеренко «Триумф Российского флота». Стела декорирована бронзовыми элементами с морской военной геральдикой.

Напомним, что 10 мая 2018 г. под руководством вице-губернатора Санкт-Петербурга И.Н. Албина состоялось совещание по вопросам изготовления и установки памятного знака «Триумф Российского флота» на Якорной площади в Кронштадте ко дню Военно-Морского Флота в 2018 г. По поручению И.Н. Албина СПб ГУП «Ленсвет» установило освещение памятного знака, эскиз которого одобрен Градостроительным советом при Правительстве Санкт-Петербурга.

lensvet.spb.ru/news/
24.07.2018

В Тимирязевской академии подтверждают эффективность облучателей со светодиодами

В сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) изучают влияние передовых облучателей с СД на развитие разных культур. Этой весной местом исследования стала теплица микроклонального размножения картофеля на Полевой опытной станции.

Эксперимент начался в марте. Учёные поставили задачу сравнить, как развивается картофель (сорта «Снегирь», «Метеор», «Жуковский ранний») под воздействием традиционных облучателей с НЛВД и облучателей с СД «*AtomSvet® BIO*» производства российского завода «АтомСвет». Ещё до окончания эксперимента учёные отмечают превосходство оборудования с СД.

Михаил Маврин – представитель компании «АтомСвет Энергосервис» (эксклюзивного поставщика продукции завода «АтомСвет») – рассказал, что облучатели с СД для теплиц были опробованы в нескольких крупных хозяйствах по выращиванию картофеля и дали прирост урожая на 20 %. Приборы «*AtomSvet® BIO*», по его словам, имеют спектр видимого излучения, максимально приближенный к солнечному. При этом в серии есть модели с разным цветовым набором СД, что позволяет выбор техники под разные сельскохозяйственные культуры.

Тимирязевцы успешно используют спектральные особенности облучателей в технологии микроклонального размножения. При этом результаты тестовых испытаний склоняют агрономов к внедрению передового облучательного оборудования.

Особый интерес вызывает экономичность облучателей с СД, ведь тепличные хозяйства отличаются высокой энергоёмкостью. При использовании системы ассимиляционного освещения «*AtomSvet® Grower*» с функцией автоматического управления экономическая эффективность становится ещё больше.

svetozone.ru
16.07.2018

LED FORUM

6–7 ноября 2018
ЦВК «Экспоцентр»
Москва

Международная конференция о возможностях применения LED-технологий

- Агропромышленный комплекс: теплицы
- Городские объекты и Smart City
- Учреждения культуры: музеи и выставки
- Наружная реклама и ритейл

Ключевые темы:

- Изменения в отрасли благодаря LED-технологиям
- Новые возможности применения светодиодов
- Нормы и стандарты освещения в отрасли

По вопросам участия:
Елена Бежук
+ 7 495 649 87 75 (доб. 161)

www.ledforum-moscow.ru

messe frankfurt

В рамках выставки:
interlight MOSCOW
powered by light + building

ПАМЯТИ ГАЛИНЫ ИЛЬИНИЧНЫ ГАРИФУЛИНОЙ (30.12.1949–03.06.2018)

3 июня 2018 года после тяжёлой болезни ушла из жизни Гарифулина Галина Ильинична, известный специалист-светотехник, внёсший большой вклад в развитие отечественной светотехнической отрасли.

В 1973 году Галина Ильинична окончила Московский Энергетический институт (факультет электронной техники) и была распределена во ВНИСИ в лабораторию архитектурного и спортивного освещения. Ей повезло работать в очень интересное время подготовки Олимпиады-80. Галина Ильинична принимала участие в проектировании освещения многих спортивных объектов и в разработке новых прожекторов для этой цели.

В сложные 90-е годы Галина Ильинична стала руководителем лаборатории. Под её руководством были выполнены проекты значимых объектов, в числе которых Храм Христа Спасителя, Новодевичий монастырь, стадион «Лужники».

В 1999 году Галина Ильинична перешла на работу в Московский институт по проектированию объектов культуры, отдыха, спорта и здравоохранения «Моспроект-4», где продолжила трудовую деятельность в должности руководителя лаборатории архитектурного и спортивного освещения и заместителя начальника научного отдела института. Коллектив лаборатории под её руководством выполнил проекты осветительных установок объектов Олимпиады-2014, стадиона «Локомотив», Крытого конькобежного центра в Крылатском, ледового дворца «МЕГА-СПОРТ» и многих других.

Г.И. Гарифулина была членом авторских коллективов разработчиков нормативных документов по спортивному освещению и автором множества публикаций.

Успешная профессиональная деятельность Галины Ильиничны была отмечена правительственными наградами.

Коллеги и друзья помнят её как доброжелательного и жизнерадостного человека, обладавшего неиссякаемым оптимизмом.

Напряжённую профессиональную деятельность Галина Ильинична с успехом совмещала со сложной работой мамы троих детей и бабушки семерых внуков, серьёзно увлекалась музыкой, живописью и спортом.

Галина Ильинична всегда была душой любой компании и любила жизнь.

Память о Галине Ильиничне, профессионале и светлом человеке, сохранится в сердцах всех, кто её знал.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2018 ГОДУ (IV квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
09–11.10	***Lighting Technology -2018*** Международная выставка светотехнических систем, компонентов и приборов	Эссен, ФРГ lighting-technology.com
11–13.10	***IALD Enlighten Americas 2018*** Международная конференция о светодизайну и смежным вопросам, организуемая Международной ассоциацией светодизайнеров	Сиэтл, США iald.org
23–25.10	***Lighting Kazakhstan* 2018** 8-я Казахстанская международная выставка «Освещение, светотехника и светодиодные технологии»	Алматы, Казахстан powerexpo.kz/ru
25–27.10	***Professional Lighting Design Convention (PLDC)* 2018** 7-я Международная конференция по профессиональному осветительному оборудованию и светодизайну с выставкой	Сингапур pld-c.com
27–30.10	***HKTDC Hong Kong International Lighting Fair*** *(Autumn Edition)* Международная светотехническая выставка, организуемая Торговым советом Гонконга. Крупнейшая выставка такого рода в Азии и вторая по величине в мире	Гонконг, КНР hktdc.com
06–09.11	***Interlight Moscow powered by light+building* 2018** 24-я Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий	Москва, РФ interlight.messefrankfurt.ru
07–09.11	***IALD Enlighten Europe* 2018** Международная конференция по светодизайну и смежным вопросам, организуемая Международной ассоциацией светодизайнеров	Барселона, Испания Iald.org

ОТ РЕДАКЦИИ

Публикуем продолжение дискуссии по проблеме светового дизайна, открытой в №3 нашего журнала статьями С. Сизого «Современное состояние и перспективы развития современного светодизайна» и Д. Макарова «Световой дизайн. Современное состояние».

Ю.В. Назаров,
доктор искусствоведения, профессор,
ректор АНО ВО «Национальный
институт дизайна», почётный президент Союза
дизайнеров России

«Дизайн отличается от архитектуры и машиностроения в одном очень интересном отношении: это единственная профессия, ставшая мифом, не успев достигнуть зрелости»[1]. Так, словами знаменитого североамериканского архитектора и дизайнера Джорджа Нельсона, следовало, на мой взгляд, открыть полемику на страницах журнала «Светотехника», посвящённую профессии «светодизайнер».

Лично у меня вызывает уважение готовность редакции предоставить страницы для публикации молодым авторам, стремящимся разобраться в хитросплетениях нового направления дизайна. Хочется высказать признательность и самим авторам – Сергею Сизому и Денису Макарову – за стремление определить истину и сформулировать основные требования к специалисту, проектирующему освещение. Но вернёмся к сути дискуссии. Ключевым её вопросом является: кто же такой – светодизайнер? Любой зарождающийся вид деятельности, любая творческая генерация начинают своё вторжение в мир признанных профессий с мифологизации своего появления.

В эпоху активной экспансии дизайна Джордж Нельсон не без юмора описал в своей книге «Проблемы дизайна» образ специалиста, созданный рекламой: в соответствии с этим портретом дизайнер сочетает в себе таланты Архимеда, Томаса Эдисона и Микеланджело. «Сия незаурядная личность, – писал Д. Нельсон, – переделала все привычные атрибуты цивилизованной жизни, создала электрокосилки, срезающие траву, но не причиняющие никакого вреда животным… Дизайнеры разработали кабины грузовиков, более комфортабельные, чем каюты первого класса на роскошном лайнере… Спроектировали холодильники, едва ли не сами заказывающие гастрономические товары. У этого «счастливчика» имеются и свои заботы: предполагается, что, сотворив все эти чудеса, дизайнер затем должен создавать проекты новых изделий, настолько более привлекательных, что потребителю не остаётся другого выхода, как выбросить на свалку всё купленное им ранее, дабы освободить место для усовершенствованных моделей…

И хотя легенда о сверхспециалисте, сказочные таланты которого равняются лишь его сказочным доходам, принял противоестественные размеры, нет недостатка в доказательствах, что с точки зрения бизнеса дизайнеры добились весьма внушительных результатов». Перечисляя компетенции, необходимые для того, чтобы стать светодизайнером, оба автора публикаций уподобляются этой давнишней подтасовке, наделяя своего супермена всеми возможными и невозможными навыками. Думается, всей жизни профессионала не хватит, чтобы в равной степени освоить перечисленные области знания. На наш взгляд, ключевым свойством любого проектирующего специалиста, включая светодизайнера, является наличие творческого воображения. Без этого ключевого компонента никакие технические, экономические и деловые навыки не позволят создать оригинальное и привлекательное произведение дизайна, в том числе и в области светодизайна!

Ещё один тезис, на котором делают акцент С. Сизый и Д. Макаров, связан со всемогуществом техники и, в частности, волшебной силой светодиодов. Вновь обратимся к мыслям Дж. Нельсона. В уже упомянутой работе «Проблемы дизайна» он отмечает: «Когда речь идёт о создании произведения искусства, *технические усовершенствования*, в процессе ли обработки или в материалах, *не имеют ровно никакого влияния на конечную цель*». Сегодня с этим тезисом многие готовы поспорить, но тогда мы поставим под сомнения все художественные достижения цивилизации, включая Античность и эпоху Возрождения. Все шедевры классического искусства были созданы в докомпьютерную эру без помощи *Adobe Photoshop* и *Adobe Illustrator*.

Легковесно, на наш взгляд, выглядит обращение авторов к вопросам физиологии и психологии зрительного восприятия. Это область развивается не менее стремительно, чем компьютерная техника, и порой сентенции типа «свет позволяет нам видеть всё вокруг, светодизайнер должен знать психологию и физиологию зрительного процесса человека», выглядят несколько самоуверенно. А куда, позвольте, следует отнести невидимые глазом участки спектра, расположенные в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазоне? Да, богомол видит во всех диапазонах, многие насекомые – тоже обладают этим свойством, но человек, увы, нет! Поэтому мы не можем видеть всё, но и видимого – нам с избытком достаточно!

Ещё одна тема обсуждения – роль маркетологов в команде и знание дизайнером специфики рынка проектных услуг. Здесь уместно обратиться к мнению дизайнера-самоучки, легендарного Инго Маурера.

[1] Джордж Нельсон. Проблемы дизайна. Издательство: М.: Искусство, 1971

В одном из интервью Маурер высказался так: «Успех не строится на маркетинге. У меня натянутые отношения с маркетингом, поскольку маркетинг основан на том, чтобы что-то продать, что человеку вовсе не необходимо. Маркетинг не морален. Это нехорошо. Не нужно человека соблазнять, нужно просто показывать, как хороши вещи. А людям путь нравится, или не нравится, пусть они это любят, или не любят… Это называется риском. А риск в жизни на всех уровнях важен».

Не менее важен в затеянной полемике эпизод взаимодействия с архитектором проекта, здесь мнение Маурера весьма определённо: «Идеально, когда архитектор зовёт нас, когда ещё только планирует что-то. Когда кабели ещё не проложены, и чётко не ясно, что и где будет проходить. Поскольку тогда существует возможность к диалогу и вероятно даже решение, к которому не пришёл ещё архитектор. От себя скажу, это непростой диалог, когда дизайнер света работает с архитектором. А для нас важен диалог, ведь есть совместная задача. Мы любим очень диалог. Но архитекторы очень жёсткие люди. Часто они сами страдают от жёсткости, когда в середине вдруг хотят что-то изменить, но это уже невозможно. Хороший архитектор всегда думает о свете».

Завершая комментарий к опубликованным статьям, хочется подчеркнуть, что в полемических материалах не следует строго цитировать фрагменты «Профессионального стандарта», ведь всем нам необходимо помнить, что каждый талантливый дизайнер конструирует свою собственную модель профессии, и в этом залог неповторимости и разнообразия появляющихся проектно-художественных решений. Приведём в качестве примера ещё одно высказывание Инго Маурера. На вопрос журналиста «что свет для Вас?» мэтр ответил: «Свет сверхъестественно влияет на нас и на наши чувства. Изменяя освещение в помещении, можно очень сильно изменить всё пространство. Свет обладает огромным потенциалом, имеет миллионы возможностей для превращения обстановки в нечто новое. Но самый прекрасный свет – из человеческого сердца, из человеческой души. Это самый прекрасный свет. Это заметно по детям, которые выходят из школы: они счастливы и их лица полны света… Так вот самая главная задача человека – сохранить этот внутренний свет».

А.Т. Овчаров,
д.т.н., профессор кафедры «Архитектурное проектирование» ТГАСУ

Мнение по проблеме светового дизайна на основе статьи «Современное состояние и перспективы развития современного светодизайна» (С. Сизый).

В статье последовательно и интересно изложена хронология этапов развития светодизайна, трансформации понятий и формирования современных представлений и эволюция терминологии в области светового дизайна. Выделен вклад российских учёных и специалистов в развитие отечественного светодизайна. В рамках ретроспективного обзора становления отечественного светодизайна автор предпринял попытку изложить предпосылки к развитию этой области творчества на основе эволюционного формирования потребностей человека, теоретические и методологические основы светодизайна как науки и практики и указал на объективные факторы, способствующие развитию и определяющие перспективы развития светодизайна в России. Среди таких факторов автор назвал достижения в области осветительной техники, познания в области физиологии и психологии взаимодействия в системе «Человек и свет» и технические решения проблем визуализации.

Однако автор оставил «за кадром» главное, что отражало бы название статьи – характеристику и своё мнение по поводу современного состояния светодизайна и вектор его развития в перспективе. Статья носит характер ретроспекции.

Подводя итог, можно сказать, что современный отечественный светодизайн остаётся представленным работами и методологическими основами, изложенными в монографии Н.И. Щепеткова «Световой дизайн города» и других его работах. В этой связи, считаю, в представленной статье нет предмета для дискуссии.

Дискуссионной могла бы стать заявленная автором статьи теория эмоционального дизайна. Однако автор не раскрывает перед читателем её базовые положения.

Мнение по проблеме светового дизайна на основе статьи «Световой дизайн. Современное состояние» (Д. Макаров).

Название статьи имеет дискуссионный характер, т.к. до сих пор в РФ световой дизайн развивается стихийно, регионально, преимущественно по принципу фрагментарной дискретности в городской среде (особенно на периферии), сообразно коммерческим интересам и финансовым возможностям. Региональная власть и её архитектурно-градостроительный совет в большинстве случаев отмежевались от этого стратегического явления в формирования комфортной световой среды вечернего города, от осознания необычайно важной и мощной воспитательной и эмоциональной задач. Желание автора поднять вопрос и «открыть живую дискуссию и обсуждение» в части «Световой дизайн. Современное состояние» актуально. Обмен мнениями специалистов в этой области, несомненно, полезен и продуктивен. Особенно, если в этом процессе примут участие главные архитекторы городов в роли представителей администраций.

Критерии оценки результатов работ самостийных светодизайнеров весьма условны и преломляются через призму цены. Эту ситуацию подогревает совершенно нелепая ситуация с развиваемой в РФ абструктивной тендерной системой. Поэтому сама по себе заявка, прозвучавшая в названии, настраивала на обстоятельный рабочий разговор по весьма серьёзной

и важной теме. Однако надежды не оправдались. Читатель не найдёт в статье ни характеристики состояния светодизайна в нашей стране, ни проблемных вопросов, тем более, рекомендаций по становлению этого важнейшего направления градостроительной политики. К сожалению, единственный момент по теме прозвучал в «Заключении» статьи, когда автор, видимо, подразумевая неблагополучное состояние в развитии национального светодизайна и выражая всеобщую обеспокоенность, предлагает «начать обсуждение создания ассоциации российских светодизайнеров». Хотя этот вопрос уже перезрел и достоин начинания процесса создания ассоциации.

В остальном статья представляет собой рекомендации учебно-методического характера, как дополнение к учебной программе по подготовке специалистов в области светодизайна с перечнем его обязательных компетенций. В этой части для дискуссий нет предмета, а рекомендации автора могут быть использованы при разработке рабочих программ профильных специальностей.

А. Ковторова,
Инженер-проектировщик
компания «*TRINOVA*»

Иногда можно услышать такие определения: светодизайнер – это тот, кто рисует красивую визуализацию освещения, учитывая пожелания архитектора, а светотехник, в свою очередь, подбирает светотехнические приборы и придумывает, как технически реализовать «нарисованную» концепцию, подготавливает проектную документацию, спецификацию и т.д. Такое разграничение сфер деятельности, на мой взгляд, в корне не верно. Светодизайнер должен обладать не только художественным вкусом и навыками владения графическими программами, но и глубоким пониманием основ светотехники, уметь не только «нарисовать» концепцию, но и точно знать, с помощью каких технических средств её реализовать, иметь полное представление о типологии, устройстве светотехнических приборов и всех технических моментах, связанных с их установкой, узлами крепления, подключением, управлением и эксплуатацией.

Инженер-светотехник, получивший базовые знания по расчёту освещённости и соответствующий диплом, тоже не может считать себя светодизайнером. Для этого недостаточно умения рассчитать уровни освещённости и подобрать необходимый светильник. Светодизайн – своего рода симбиоз техники и искусства, качественного светотехнического образования и тонкого художественного вкуса, умение оценивать не только уровень освещённости, но и воздействие света на человека с психологической и физиологической стороны, выделять положительные стороны освещаемого объекта, скрывая его недостатки, разбираться в архитектурных стилях, обладать навыками колористики, пониманием как взаимодействует свет с различными материалами и т.д. Таким образом, по моему мнению, результат работы светодизайнера –не просто освещённое пространство, это грамотно продуманная световая среда, создающая определённую атмосферу, влияющую на настроение и восприятие человеком окружающего пространства.

Н.В. Быстрянцева,
кандидат арх. наук, руководитель Высшей школы
светового дизайна Университета ИТМО

Проблем у светового дизайна нет

– «Известно, что младенцы, лишённые в течение длительного времени физического контакта с людьми, деградируют и в конце концов погибают. Эти наблюдения подтверждают мысль о существовании сенсорного голода и о необходимости в жизни ребёнка стимулов, которые обеспечивают ему физический контакт. У сенсорного голода очень много общего с пищевым голодом, причём не только в биологическом, а и в психологическом и социальном плане», – Эрик Леннард Берн, знаменитый американский психолог и психиатр.

Эта выдержка из публикации «Сенсорный голод», на мой взгляд, очень актуальна сегодня для рынка светового дизайна – междисциплинарной сферы, где качество информации, коммуникации и социализации человека в городской и общественной среде становятся главными составляющими профессии. Теперь вопрос: что делает сегодня российский рынок для того, чтобы хотя бы определить данные понятия?

За период с 2006 года не издано ни одного учебника, нет спроса и нет образовательной литературы, которая имела бы интерес как у студентов, так и профессионалов, занимающихся освещением. Основными настольными книгами до сих пор остаются: «Основы светотехники» (В.В. Мешков, А.В. Матвеев), «Световая архитектура» (Н.М. Гусев), «Справочная книга по светотехнике» (Ю.Б. Айзенберг) и «Световой дизайн города» (Н.И. Щепетков). Кому повезло, тот владеет трудами Г.В. Каменской.

Проблема светового дизайна в России сегодня – это дефицит профессиональных лидеров, слабая мотивация участников процесса и отсутствие внимания к происходящим или не происходящим в образовании, обществе, науке изменениям со стороны бизнеса, чиновников и просто потребителей среды. Бизнес существует отдельно, образование отдельно, социальные среды отдельно. За рубежом же, напротив, большинство современных международных образовательных программ существуют без отрыва от бизнеса и муни-

ципалитетов. Университеты – точки роста для развития городских инноваций.

Возможно, это связано с принципами ведения бизнеса в России, возможно с тем, что нашему образованию нечего предложить, хотя на эти вопросы сейчас есть определённые ответы.

Современным городам необходимы комплексные решения, которые обеспечивают новое качество жизни за счёт применения инновационных технологий, предусматривая оптимальное экономическое, социальное и экологическое использование городских систем жизнедеятельности. Сенсорный голод настиг и индустрии – им требуются инновационные решения, связанные с персонализированными способами управления освещением, решением проблематик эксплуатации умного дома и др. Могут ли сегодня обеспечить это российские вузы?

Работая с четвёртым поколением световых дизайнеров, видно, что интерес молодёжи к теме большой и хоть мироощущение четвёртого поколения очень отлично от первого, именно они повышают требования к профессии и заставляют менять весь образовательный процесс.

Сегодня мы прошли уже четвёртую ступень развития рабочих планов дисциплин и образовательной миссии школы, конкретизируя ценности и цели нашей деятельности. Вот основные выводы из них.

Остаются неизменными задачи: выявление и изучение физических закономерностей (теоретических и экспериментальных), компьютерное моделирование оптических явлений и обработка изображений, синтез, анализ и оптимизация оптических систем различного назначения, поиск наилучших технических решений, улучшение параметров оптических систем и приборов, исследования психофизиологии восприятия, формообразование в архитектуре и др. Вроде бы ничего не меняется, но нет, сегодня основные разработки и прикладные исследовательские работы ведутся не только по различным узким направлениям. Исследования включают комплексную аналитику развития городского освещения и качества жизни человека, затрагивают современные проблематики формирования световой среды города: информатизацию и цифровизацию городской среды, использование приёмов средового проектирования городской среды, аспекты световой культуры, социальную активность людей, маркетинга территорий, дизайна и интернета вещей.

Сейчас может выжить только программа, имеющая интегративный характер. В *CLD* (cld.ifmo.ru) интегративный характер проявляется в использовании интердисциплинарного и комплексного подходов в образовательной деятельности. Её главная цель – подготовка конкурентоспособных специалистов, ориентированных на гуманистически-инновационную деятельность в области проектирования световой среды и объектов предметного светового дизайна. Образовательная программа помогает развиваться тем, у кого уже есть желание двигаться и быть готовым к переменам в будущем, поэтому мы разработали и предлагаем методы как логического анализа, так и интуитивного, позволяющие найти свой инструмент и продолжить его развитие в профессиональном мире.

Наша задача сегодня – готовить лидеров мнений, лидеров и создателей новых областей светового дизайна не только в России, но и в различных странах мира. Что способствует такому амбициозному заявлению? У нас нет границ и иерархии между преподавателем и студентом, мы учимся в процессе и это даёт всем в комплексе колоссальный рост. Изначально мы поставили и конкретизируем целевые показатели города по теме формирования световой культуры, сейчас мы выходим на конкретизацию темы «Световая экология». Мы видим её развитие в двух направлениях: среда, оказывающее воздействие на человека и человек, как центр организации среды. На данный момент ведутся исследования таких тем как: не визуальное воздействие света, адаптивные системы освещения, энергоэффективные аксессуары, воздействие световой имитации природных форм на психофизиологическое состояние человека, окулографические исследования и др. Конечно, сложно найти преподавателей, которые могли бы качественно разбираться во всех направлениях. Мы стараемся держать качество психофизиологии восприятия и воздействие света, образное качество информации и и её глубину, осмысленность, методы оценки и генерации решений и, самое главное – авторскую ответственность разработчика. Остальные инструменты и направления вносят и развивают вместе с приглашёнными лекторами студенты (ГИС, параметрические системы, *VR* и *AR*, *IoT*, *LI-FI*, *LIGHT ID* и др)

В этом году мы ввели новые дисциплины: дизайн-прогнозирование, прикладные исследования в средовом и промышленном дизайне, вывели отдельно проблемно-ориентированное проектирование световых решений, где развиваем области маркетинга территорий, продуктового маркетинга и инструменты аналитики существующих и новых продуктов в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Конкретизация данных направлений даёт возможность любому производителю наладить коммуникацию с собственным продуктом (проектом) и увидеть оценку его конкурентоспособности перед инвестированием или реализацией. Представленные дисциплины уже формируют и структурируют наши выпускники – аспиранты, которые анализируют направления ведущих вузов мира и адаптируют их под наши задачи.

Все исследования и проекты направлены на человека – *Human Centric Lighting*. Сейчас мы выиграли огромный международный проект *Strategic Partnership* с такими вузами как *University of Wolverhampton (UoW), Aalborg University (AU), Hochschule Wismar (HW), KTH Royal Institute of Technology (KTH), Thomas Jefferson University (TJU)* по теме *LIGHT FOR HEALTH*. Мы открыты к предложением партнёров, готовых совместно создавать новые инструменты и выводить их на международный уровень.

Проект направлены на поиск решений адаптивного и интеллектуального освещения, учитывающего информацию об окружающей среде и её пользователях, социальную активность, климатические изменения и тд. Подобные научно-практические исследования являются интердисциплинарными (на стыке фотоники, информационных технологий, светового дизайна, архитектуры, дизайна среды).

Социальная значимость светового дизайна в современном мире и его роль в формировании сегодняшней предметной реальности выражается в том, что он в равной степени ориентирован на повышение качества среды вне политики и вне существующих систем организации проектной деятельности. Являясь эффективным средством создания многофункциональной, культурной, интерактивной среды световой дизайн одинаково востребован как при адаптации исторических общественных территорий городов к потребностям современного общества, так и при формировании нового урбанистического ландшафта, отвечающего духу настоящего времени.

В качестве важнейшей составляющей общей стратегии развития отечественного светодизайна выступает методология комплексной образовательной подготовки конкурентоспособных, направленных на решения проблемно-ориентированных задач профессионалов (*Problem Based Learning*), которое практикуется Высшей школой светового дизайна уже 3-й год и в настоящий момент реализуется авторами на базе Университета ИТМО.

Комплексная подготовка подразумевает участие специалистов различных профессиональных сред – маркетологов, архитекторов, культурологов, художников, дизайнеров, урбанистов, специалистов в области ИТ, экспертов в области здравоохранения, робототехники и современной инженерии. Какие результаты в налаживании профессиональной коммуникации мы видим сегодня? Некоторые трактованы в дискуссии по данной теме ранее.

Со времён налаживания диалога светотехника с архитектором, только сейчас в российском световом дизайне стали приобретать научное продолжение исследования восприятия света и распознавания зрительных образов. До сих пор в России нет ни одного специалиста, который бы продвинулся дальше в вопросах эстетики освещения и понимания психологического и физиологического воздействия света, чем А.Б. Матвеев и Г.В. Каменская. Поднятые авторами вопросы остаются до сих пор нерешёнными. Более того, они накапливаются на фоне дефицита количества актуальных научных обоснований.

Проблем у светового дизайна нет, есть проблема мотивации. Работая со студентами видно, как можно формировать личное отношение к профессии, как пробудить желание меняться и влиять на профессиональное развитие. Так давайте же вернёмся к трудам коллег нулевых и обретём ту самую мотивацию, в которой понятие «качество» тождественно комфорту каждого из нас.

А. Ковшова
бренд-инженер ООО «КБ СПАРТА»

Рецензия на статью С. Сизого «Современное состояние и перспективы развития современного светодизайна»

Статья максимально тяжела к восприятию, нет логичного построения «вступление – обрисовка проблемы – заключение». Данную работу можно отнести к теме развития светового дизайна как такового, но никак не к современному его состоянию и перспективах развития. Непонятно, зачем автор подробно останавливается на «излюбленной» теме светодиодов и их истории. Аналогии зрительного восприятия с народными пословицами носят субъективный характер и оставляют много вопросов, главный из которых – как эта тема связана с развитием светового дизайна?

Общий комментарий: статья не соответствует заявленной тематике, не понятно отношение автора к современному состоянию светодизайна.

2. Рецензия на статью Д. Макарова «Светодизайн. Современное состояние»

Статья написана доступно и понятно, в полной мере раскрыта тема, обрисованы основные проблемы профессии и возможные пути решения. Чётко прослеживается взгляд автора на проблематику современного светодизайна. Актуальность статьи не вызывает сомнений, проблема грамотных специалистов в данной области светотехники стоит достаточно остро. Автором проведена серьёзная работа по выявлению основных критериев специальности, что позволяет даже человеку, далёкому от светотехники, понять её специфику.

Общий комментарий: Заинтересованность и компетентность автора видна с первых строк, статья является примером глубокого изучения проблемы, актуальность выбранной темы не вызывает сомнений.

3. Личное отношение к заявленной теме

Для меня, как для инженера-светотехника, со стажем работы в профессии больше 7 лет, заявленная тематика очень актуальна. Часто приходится сталкиваться с непрофессиональным световым дизайном, как на трудовом поприще, так и в бытовом отношении. Зачастую, так называемый «световой» дизайн просто «убивает» архитектуру или выглядит очень нелепо. Что не так страшно, как выполнение проекта без элементарных знаний светотехники. Когда «ловишь зайчиков» только зайдя в помещение или просто слепнешь от неоправданно завышенного уровня освещённости.

На мой взгляд, при работе с проектом нужно чётко разделять задачи светодизайнера и задачи инженера-светотехника. Можно провести аналогию с выполнением проекта по архитектуре – архитектор «создаёт» здание, дизайнер «наполняет» его, визуализатор пред-

ставляет заказчику, как это должно выглядеть. Все они являются неотъемлемой частью выполнения архитектурного решения. Так должно быть и в работе со светом – светодизайнер создаёт концепцию освещения, согласует её с заказчиком, делает визуализацию, инженер-светотехник помогает в выборе оборудования, делает проектную расстановку, выполняет расчёты, готовит спецификацию. Но нельзя забывать, что без знаний светотехники, производителей оборудования, основ системы управления освещением и т.д. светодизайнер не сможет грамотно выполнить свою работу. Так же, как и без архитектурных навыков – как будет та или иная поверхность взаимодействовать со светом, как будет выглядеть то или иное сооружение в общем ансамбле местности, как цветодинамика будет сочетаться с используемыми материалами. Все эти аспекты светодизайнер должен хорошо знать и уметь ими пользоваться.

В идеале, светодизайнер должен приступать к работе параллельно с выполнением архитектурного проекта на стадии создания общего дизайна помещения или здания. В этом случае можно добиться максимально грамотного и профессионального результата. Но как показывает практика, особенно в проектах внутреннего освещения, светодизаенерами становятся дизайнеры интерьеров и архитекторы, которые не способны грамотно работать со светом, и весь светодизайн сводится к красивым декоративным светильникам, что неправильно.

Не могу также не отметить, что обсуждаемое направление очень тесно связано с профессией инженера-светотехника, но всё-таки, по-моему, это не техническая специальность. Здесь инженерно-техническая база должна сочетаться, с творческим подходом. Даже профессиональный инженер-светотехник с многолетним опытом работы, порой не способен увидеть архитектурные детали и нюансы, которые можно подчеркнуть светом или наоборот скрыть огрехи.

Для меня светодизайнер – это «микс» профессий архитектора, инженера-светотехника и художника. Это человек, который может рисовать светом, но при этом понимает, что представляют собой его «кисти».

Л.Г. Новаковский,
кандидат техн. наук, генеральный директор ООО «Фарос-Алеф»

Некоторые соображения по вопросам, поднятым в статьях с. Сизого и Л. Макарова

Ознакомление со статьями С. Сизого «Современное состояние и перспективы развития современного дизайна» и Л. Макарова «Световой дизайн. Современное состояние» вызывает несколько странное впечатление. С одной стороны блестящая эрудиция (правда, не всегда по существу), а с другой – дизайнерская интерпретация отечественных и международных стандартов на разработку новой техники (по меньшей мере, основные этапы по смыслу совпадают). И в заключение – «крик вопиющего в пустыне…»: не смейте, мол, кто попало заниматься светодизайном – обязательно два образования, подтверждение уровня кучей выполненных проектов, да ещё и с отзывами известных специалистов. А как быть с академиком Я.Б. Зельдовичем без диплома о высшем образовании или с Д.И. Менделеевым, не имеющим диплома химика или метролога? Вот беда – нет бумажки!

Но давайте по порядку.

Мне кажется, что сначала следует определить, а что же такое светодизайн – в дословном переводе – разработчик света, т.е. Господь Бог … «…да будет свет, и стал свет…», но ведь мы-то хорошо понимаем, что это не так. Просто в данном случае слово дизайн в русской интерпретации имеет совсем другую смысловую нагрузку. У нас это оформление, стиль, если хотите, а проектирование, разработка – это, в нашем случае, синтез светотехники с её чётко сформулированными законами, архитектуры, в которой тоже всё определяется законами, имеющими числовое выражение, психофизиологии, определяющей наше восприятие и характер реакций, также науки вполне конкретной, с числовой оценкой принимаемых решений. Очевидно, что при разработке сложных проектов в качестве разработчиков будут участвовать специалисты и других профессий: электротехники, гидравлики, теплотехники, программисты и др., но какое это имеет отношение к светодизайну. Существует теория принятия решений, и вот ей-то и должен владеть ответственный руководитель проекта. При этом, спору нет, он должен хорошо образован и (не плохо бы) с развитым интеллектом.

Поэтому попытка причислить светодизайн к некоей сверхнауке следует считать недоразумением до тех пор, пока этот род деятельности не будет математизирован. Подобное заключение в отношении медицины сделал когда-то Ф. Энгельс, а Леонардо да Винчи в своё время, сформулировал этот принцип не менее чётко: «Никакой достоверности нет в науках там, где нельзя приложить ни одной из математических наук, и в том, что не имеет связи с математикой».

Поэтому, к сожалению, путь, выбранный авторами статей, – использовать в качестве аргументов сомнительные теории типа цветомузыки А.Н. Скрябина, которая, по сути, приводит к бинарному распределению белого цвета, либо В. Кандинского, предлагающего теорию цвета на чувственном уровне, а также причислить к светодизайнерам других выдающихся деятелей светотехники и архитектуры, – тупиковый.

На мой взгляд, занимаясь оформлением архитектурных решений, необходимо, прежде всего, сформулировать цифровые оценки своей деятельности тогда можно говорить о состоянии. Они на самом деле есть. Это теории К. Шеннона, Р. Хартли, Э. Вебера, Г. Фехнера, С. Стивенса позволяющие численно отделить полезные световые решения при формировании свето-

вой среды от информационного шума (избыточного влияния световых эффектов), вызывающих дискомфорт восприятия вплоть до болевых ощущений, кстати, очень частое явление в подавляющем большинстве светодизайнерских проектов.

Не надо путать с демонстрацией световых эффектов в «дни света», проводимыми в Лионе – это всего лишь демонстрация возможностей достижений светотехники и систем управления ОУ в архитектурном приложении.

Это как раз то, что определяет сегодняшние возможности светодизайна, использование которых должно быть подчинено численному решению задачи, достижения оптимальных энергетических показателей эффективности системы освещения от использования современных источников света и построенных на их базе ОУ при формировании комфортной световой среды.

При этом очень важно иметь в виду, что идеальным светом Леонардо да Винчи называл состояние среды, когда при отсутствии визирования источника света можно различать все нюансы объекта. Сегодня это представление, в ряде случаев, вполне поддаётся и при построении искусственного освещения.

А.Г. Хаджин
Главный архитектор ООО «Мастерская света»

Архитектурное освещение на Садовом кольце как зеркальное отражение современного состояния светового дизайна столицы

Прежде всего – а что такое современный световой дизайн? Это передовое световое оборудование, которое почти научились производить на отечественных предприятиях, и в которое до сих пор вставляют импортные светодиоды? Это «помпезно-масштабные» городские программы чиновников по освещению, которые реализуются со множеством недоделок и откровенными ошибками? Или это (на мой взгляд), прежде всего, современное мировоззрение на вопросы освещения? И реальное пространство вокруг нас, светоцветовая среда, в которой каждый вечер оказываются жители больших и малых городов, да и прочих населённых пунктов? С развитием отечественного производства световых приборов и доступностью аналогичной продукции из Китая – довольно разнообразная по источникам света. А вот насколько комфортная для человеческого глаза – вот вопрос…

Хочу высказать своё мнение по данному вопросу – мнение специалиста, работающего в области светового дизайна более двадцати лет (пусть и нескромно, но как есть). У отечественного обывателя («зрителя-потребителя») мнение может быть другое. А у туриста из заграницы (человека из другой среды) – своё, может быть, совсем не похожее на два вышеотмеченных. Поэтому не могу согласиться с мыслью, что некоторое искусственное освещение может воздействовать на окружающих «эмоционально одинаково». Это скорее зависит от психического состояния конкретного человека, и не всегда – от его эстетической культуры. И, разумеется, многое зависит от среды, в которой находятся объект и наблюдатель.

Вроде бы научились делать «драйверы», копировать «выкрутасные» опоры освещения, создавать (иногда) нетривиальные проекты подсветки, что-то преподавать молодёжи в области светотехники (в паре «учебных центров» – довольно креативно и, главное, грамотно). Но световой дизайн в России складывается не только из состояния современного рынка светодиодов (из чего делают световую среду) и уровня преподавания в ряде учебных заведений (кто проектирует световую среду). Важным аспектом является, кто финансирует масштабные программы освещения на уровне города (кто заказывает световую «музыку»).

Как световая среда сегодня возникает вокруг нас? Если дело идёт о частном проектировании (подсветки монообъекта или даже архитектурного ансамбля) – всё понятно: заказчик заказывает проект архитектурного освещения (иногда – «с землёй» и необходимыми согласованиями), оплачивает осветительные приборы, нанимает монтажную бригаду и приступает к реализации. Но большие городские пространства освещаются совсем по-другому. И за другие деньги, *очень другие*. И тут велик соблазн «отломить себе кусочек» от финансирования проекта, то есть, не «осветить», а «освоить». Неправильно (на мой взгляд) составив планы очерёдности подсветки городских пространств (как и список некоторых, например, в Москве), чиновники сначала запустили программы по подсветке только фасадов и лишь через несколько лет стали «пришивать к ним» пешеходные «световые прогоны». Это когда часть фасадного освещения, выработав свой ресурс на некачественном оборудовании, пришла в негодность на городских магистралях. Результаты не очень согласуются даже с самим названием широко разрекламированной концепции единой светоцветовой среды города Москвы 2011 года.

С самими программами подсветки пространств и участков можно долго спорить. Невозможно равноценно хорошо подсветить все здания на улицах. Да это вовсе и не нужно на магистралях в десятки километров от центра до МКАД, скажет вам любой профессионал по свету. Какие-то здания должны быть более освещёнными, а какие-то – только слегка акцентированы светом. Что-то и вовсе следует проигнорировать: экономить финансовые средства на более достойные с точки зрения архитектуры фасады. И «увязывать всё это светом» с пешеходными пространствами вокруг и зелёными территориями по соседству. Тут нужен опыт архитектора-светодизайнера, а не чиновника. Но вторые при создании городских программ часто не советуются с первыми.

Кстати, если говорить об опыте проектирования! Вот вроде бы принято считать, что светодизайнер сегодня должен обладать знаниями в области светотехники, компетентно разрабатывать концепции освещения, хорошо разбираться в современных осветительных приборах на рынке, уметь считать сметы, грамотно взаимодействовать с заказчиком, вести авторский надзор и т.д. А по-моему, часто достаточно иметь «определённые связи», и – реализуй даже казённый проект «в свете общих финансовых интересов» – всё с рук сойдёт, в любой инстанции.

Иначе, как можно объяснить, что в последние несколько лет широко развернулись программы праздничного оформления светом пешеходных зон к каким-нибудь датам или «сезонам». Зачем один раз создавать сложные в монтаже и согласовании осветительные установки с различными режимами работы, когда можно штамповать «вечный праздник» – «световые висюльки», развешанные над улицами, быстро слепленные тематические муляжи, опутанные проводами, которые можно менять помногу раз на каждом участке городского пространства. А ведь специально «соплирастяжки» (светильники функционального освещения на подвесе) сначала убирали. Теперь днём исторические фасады и не видны из-за паутины проводов…

Отдельная тема – экология! Понятно, что деревьям, которые опутаны «световой паутиной», и пернатым с насекомыми, которые на них обитают (обитали?), ничего хорошего от этого «не светит». Правда, они никому пожаловаться не могут. А вот жители столицы, которым своё здоровье небезразлично, кое-где уже начали создавать инициативные группы и заваливать городские службы жалобами на «световую красоту», которая и со своих фасадов, и с фасадов напротив навязчиво вторгается в их квартиры.

Состояние современного светодизайна можно оценить, проехав на автомобиле вечером по Садовому кольцу или прогулявшись по новым пешеходным зонам центральной части столицы. Только давайте с ходу

Рис. 1. Концептуальные предложения на 2012 год (предположительно)

«не восторгаться» пластиковыми «пасхально-курицо-яйцевидными» объектами – можно о груды раскиданных проводов споткнуться ненароком.

Что мы видим на зданиях Садового? Иногда – неплохие осветительные приборы. Часто – нелогичную подсветку пространств стен с «рваненько-пятнистыми» световыми карнизами, где светом акцентируют совсем не те детали фасадов. Это я имею в виду здания, где кроме светильников под карнизами и на углах, присутствует ещё некоторое количество осветительного оборудования и на других участках. «Прифасадные» пешеходные пространства первого этажа практически отсутствуют (не путать с пешеходными зонами, которые на Садовом решались отдельно от фасадов). Цветной свет на кольце вообще практически отсутствует. Это при том, что Садовое кольцо фразиологически навевает определённые цветовые образы. И при чём тут надуманный «ядовито-золотой» цвет карнизов – «зо-

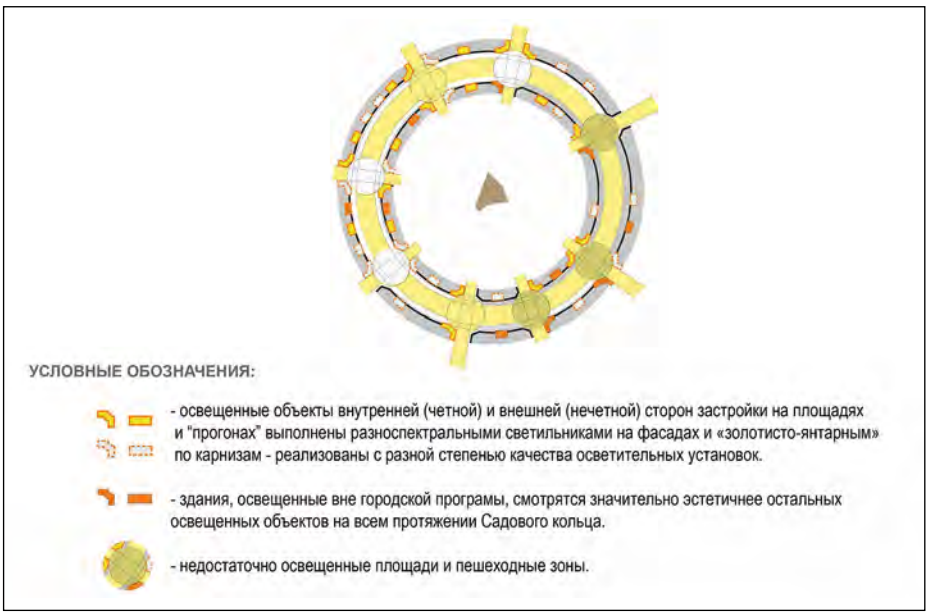


Рис. 2. Реализация концептуальных решений на 2018 год (как получилась)

Рис. 3. Земляной Вал. Городская программа освещения. То ли световой хаос, то ли «световой беспредел»

лотое колечко»? То, что денег много «освоили», знаем, а вот насколько удачно – вопрос (ещё один?)…

По какой концепции реализовывались проекты освещения – не понятно. Лишь на одном сайте нашлась пара развёрток, имеющих весьма мало общего с реализацией. Опыта нет, концепций никогда по Садовому не делали? Делали. Правда не реализовали. Почему – опять вопрос (ого, уже третий!).

В начале 2000-х годов в Москве разрабатывалась концепция архитектурно-художественного освещения Садового кольца. И довольно серьёзно для того времени: сначала были выполнены альбомы с исходными данными, пояснительной запиской состояния световой среды, проведён анализ и только потом сделаны проектные предложения по архитектурному освещению.

В световой палитре дизайнеров тогда были только осветительные приборы с металлогалогенными, галогенными, люминесцентными источниками белого света. Ещё широко применялись натриевые лампы высокого давления. Сами по себе источники света делились на холодные и тёплые по цветовой температуре. Исходя из скромных светотехнических возможностей, предполагалось площади с пересечениями транспортных потоков и проезжие части площадей интенсивно осветить холодным светом, чтобы акцентировать внимание водителей после протяжённых «натриевых прогонов».

Сами фасады по внутренней стороне Садового кольца должны были светить тёплым светом, а фасады на внешней стороне – холодным. На венчающих парапетах зданий, обрамляющих площади, предполагалось устанавливать «световые архитектурные объекты». Большое внимание уделялось подсветке как пешеходной зоны вдоль первых этажей зданий, так и пешеходных участков вдоль тротуаров самого кольца. К сожалению, тогда данный проект не удалось довести до реализации.

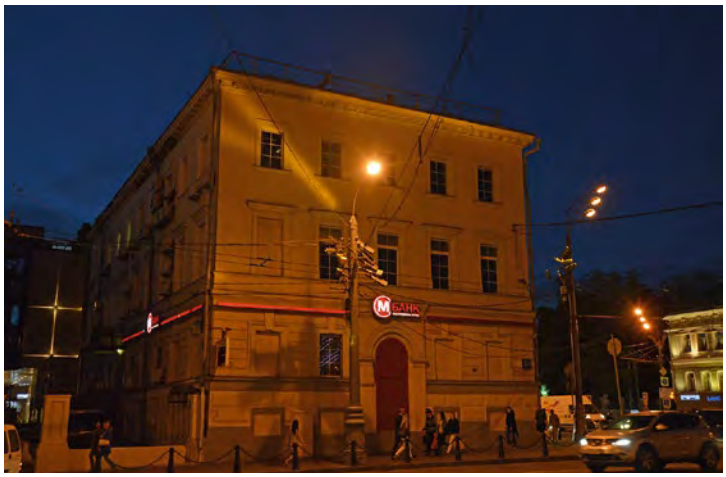


Рис. 4. Садовая-Кудринская улица. Угловой фасад с Баррикадной решили подсветить заливающим освещением... от линейных светильников (по городской программе). На заднем плане справа (на внутренней стороне) – здание, подсвеченное металлогалогенными прожекторами в начале 2000-х годов, в свете архитектурного освещения, выглядит более цельно

Рис. 5. Валовая улица. Городская программа (слева) и коммерческий проект освещения (справа). Почувствуйте разницу

К теме масштабного освещения Садового кольца вернулись после выхода в свет документа «О концепции единой светоцветовой среды города Москвы» (11.11.2008 г. № 1037-ПП). Сначала попробовали «обкатать» её на вылетных магистралях столицы. Что получилось – можно посмотреть и на Тверской улице, на Ленинградском, Каширском, Варшавском и Волгоградском шоссе. Вот на проспекте Мира получилось поприличнее – коллектив поопытнее попался, наверное. А некоторые концепции с профессиональной точки зрения были выполнены настолько слабо, что до реализации дело вообще не дошло.

Теперь о концепции освещения на самого Садового кольца. Доступной информации для общественности в сети практически нет. Поэтому на первой схеме (рис. 1) автор попытался предположить, какие задачи решались в концепции освещения:

– подсветка золотым цветом верхние части всех строений вдоль магистрали, объединив их тем самым в кольцо;

– создания светоцветовых режимов освещения для различных времён года;

– уровни освещения площадей выше уровня освещения «прогонов»;

– реконструкция существующих установок с низким качеством освещения фасадов;

Рис. 6. Валовая улица. Архитектурное освещение частного сектора в 2000-х годах (слева) и современная городская программа подсветки... нижних плит балконов (справа)

– создание освещённых переходных зон на всем протяжении кольца;

– подсветка монументов, скульптур и малых архитектурных форм на кольце;

– декоративная подсветка зелёных насаждений в скверах и курдонерах.

Рис. 7. Большая Садовая улица. Городская программа (на самом кольце, если наблюдается) и коммерческий проект освещения (вторым рядом – на Малой Бронной улице). «Кто кого?»

Рис. 8. Коровий Вал. Коммерческий проект освещения. Вживую эффектнее смотрится

Рис. 9. Таганская площадь. Где что и чьё, потонувшее во мраке – не понятно

Вторая схема (рис. 2) показывает «положение световых дел» на объекте после реализации – что получилось, а что – не очень:

– подсветка золотым цветом верхних частей всех строений вдоль магистрали не реализована на всех зданиях или реализована не везде качественно – световое кольцо «разорвано»;

– архитектурная подсветка зданий не по госпрограмме выполнена значительно качественнее остальных подсвеченных объектов на кольце;

– создание светоцветовых режимов освещения для различных времён года – реализовано частично на некоторых объектах;

– соотношение уровней освещения на площадях и «прогонах» не везде соответствует поставленным задачам:

– реконструкция существующих установок с низким качеством освещения фасадов – реализована частично;

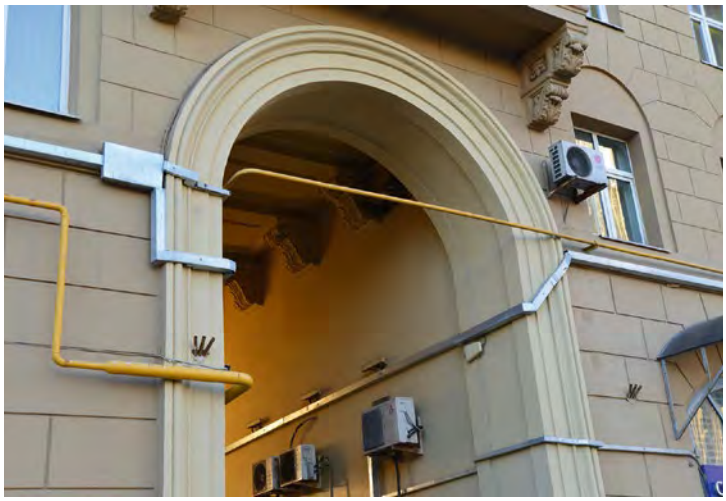


Рис. 10. Качество монтажа и эстетический внешний вид кабель-каналов на Зубовском бульваре (городская программа освещения) – *no comment*

Рис. 11. Качество монтажа и эстетический внешний вид кабель-каналов на Садовой-Спасской улице, 19с1 (городская программа освещения). Неужели этот дом – памятник архитектуры? Или с ним так можно, потому что он всего лишь регионального значения?

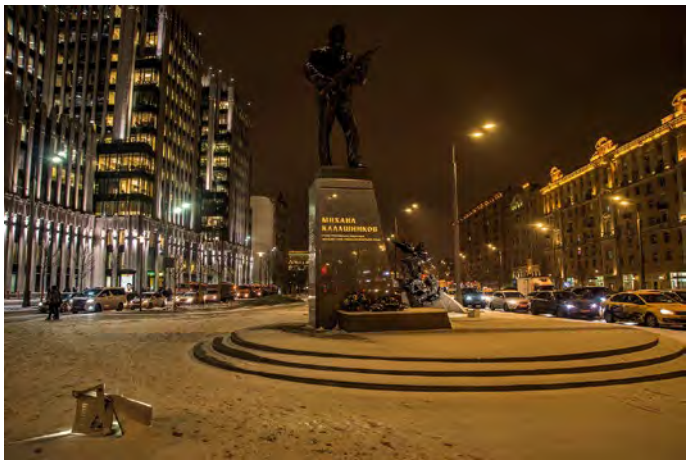


Рис. 12. Архитектурное освещение памятника великому оружейнику на Оружейном переулке. Приёмы освещения и антивандальность осветительных приборов не обсуждаем. Имя автора – не узнаем...

Рис. 13. «Стена скорби» на Садовой-Спасской почти получилась. Жалко – свет из отдельно стоящих обелисков в воздухе «не читается»

– создание освещённых переходных зон на всём протяжении кольца – реализовано не полностью и не везде – удачно;

– подсветка монументов, скульптур и малых архитектурных форм реализована неудовлетворительно;

– декоративная подсветка зелёных насаждений в скверах и курдонерах реализована не на всех участках и с различным качеством.

Однако следует учесть, что это схемы и географические соответствия показаны несколько условно.

Надо отметить, что работа по освещению Садового кольца не была выполнена сразу целиком. Некоторые здания (целые участки?) оставили «на потом», а некоторые «переделывают до сих пор». Логику освещения участков фасадов на многих домах просто невозможно объяснить (рис. 3)

Часть здания сначала попытались подсветить линейными осветительными приборами, которые «гроздями» развесили на опорах уличного освещения (рис. 4). Ничего хорошего из этого не вышло (особенно днём), и эти «световые безобразия» пришлось позже демонтировать. Но денег то сколько потратили зря (или «не зря», конечно, с какой стороны на это посмотреть).

Иногда подсветка здания, выполненная по коммерческому проекту, смотрится «в свете концепции» гораздо удачнее, чем соседствующие участки кольца, сделанные (или не доделанные) по городской программе (рис. 5, 6, 7).

Не каждое здание удачно будет смотреться, если в обязательном порядке пытаться осветить его венчающую часть «световым карнизом». На некоторых современных зданиях тектоника фасадов к этому совсем не располагает – приходится делать световые акценты совсем на других участках. И это при том, что Москомархитектура упорно пытается «притягивать за уши» линию световых карнизов в каждый проект, который им приносят на согласование «с Кольца» (рис. 8).

Большой минус – некоторые площади на Садовом кольце просто «провалились в темноту» (рис. 9).

Возвращаясь к качеству монтажа освещения – когда на объектах трудятся, последовательно сменяя друг друга, несколько бригад с различным опытом работы, какая реализация рождается у таких «нянек» (рис. 10)!

Рис. 14. Сквер на Большой Сухаревской площади. «Световая дружба» торшеров и «светодиодных шнуров» на деревьях весьма спорна

Рис. 15. Сквер на площади Красных Ворот. «Световая дружба» торшеров и боллардов. Про зелень как-то забыли

Или это вопрос и к профессионализму проектировщиков, которые осуществляли авторский надзор? Или – к организациям, которые согласовывают внешний вид фасадов и их историческую сохранность (рис. 11)!?

Почему-то последнее время мало внимание уделяют качеству подсветки монументов и малых архитектурных форм (рис. 12). Положительных примеров на Садовом кольце практически по пальцам пересчитать, на мой взгляд *(рис. 13)*. Как упоминалось выше, все финансовые силы «брошены на оформление»

Подсветка скверов и иных «зелёных рекреаций» вдоль кольца большей частью не получилась. Правда, на площади Цезаря Куникова поставили интересные современные световые системы. На иных же участках просто «понатыкали» (иначе и не скажешь!) некоторое количество торшеров и боллардов, да световую мишуру на деревья понавесили. Часто они и зрительно не вяжутся друг с другом, и света дают «не ахти сколько» (рис. 14, 15).

Опять же, как можно назвать вечернюю световую среду единой (комфортной), если не согласованы часы работы осветительных установок на фасадах зданий, выполненных по городской программе, и зданий с коммерческой подсветкой. Когда в 23:00 летом «городская подсветка» выключается, на улицах столицы ещё полно народу. И здания с коммерческой подсветкой остаются яркими световыми акцентами на тёмных развёртках столичных улиц.

Вот так на одной столичной кольцевой магистрали можно сразу и оценить – в каком направлении движется современный российский светодизайн. «Светодинамично развивается», не уступая западным образцам в отрасли освещения… или «бегает по кругу, наступая на одни и те же грабли»? Увы, не огородные – цена «набитых шишек» здесь совсем другая.

Короче говоря, на примерах реализованных концепций по подсветке городских магистралей с большим количеством осветительных установок (зданий с архитектурным освещением), считаю, что к каждому объекту следует подходить индивидуально. Без концептуально-эмоциональных заворотов и глупой стандартизации. Просто возьми… и сделай свет красиво! Не получается одновременно на таком протяжённом пространстве – может, что-то в программах-тендерах по освещению сократить нужно? Или кого-то!?

Но только вот слишком много в нашей отрасли развелось чиновников-маркетологов, которые пытаются «руководить светом», навязывают далеко не всегда грамотные решения проектировщикам и подрядчикам (об опыте некоторых тоже можно часто поспорить). Всё это, в конце концов, и бросает тень на качество световой среды любимой столицы. Думаете, в других городах дела с современным световым дизайном обстоят лучше?

Похоже, положение может исправить только создание назревшего профессионального сообщества/союза светодизайнеров и других друзей света, которые смогут грамотно подойти к процессу формирования действительно единой со всех точек зрения современной светоцветовой среды в вечернем городе (и в интерьере). Но как это сделать без доверительного отношения администрации города (читай – тех же чиновников и инвесторов) к специалистам по свету – вопрос очень непростой! И не единственный…

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гусев Н.М., Макаревич В.Г.* Световая архитектура. Стройиздат, 1973.

2. *Щепетков Н.И.* Архитектурный освещение городского ландшафта. МАСА. Ландшафтная архитектура и дизайн городской среды, 2001.

3. *Щепетков Н.И.* Световой дизайн города. Архитектура-С, 2006.

4. О концепции единой светоцветовой среды города Москвы. Постановление Правительства Москвы от 11.11.2008 № 1037-ПП. Вестник Мэра и Правительства Москвы, 2008.

А.Г. Приходько,
Кандидат архитектуры, доцент каф. «Архитектурная физика» МАрхИ

Светодизайн сегодня одно из самых модных направлений деятельности. А где спрос, там и предложение. По словам Иохима Риттера – основателя и организатора наиболее востребованной по всему миру конференции по светодизайну (*global lighting design convention PLDC*), только в *Linked in* зарегистрированно 104000 светодизайнеров[1].

Но как быть уверенным, что обратившись к кому–то из этого списка потом не прийдется горько пожалеть? Ведь общепризнанного диплома и системы проверки уровня знаний светодизайнера до сих пор не существует.

В статьях С. Сизого и Д. Макарова поднимается важная тема о признании в современном обществе профессии светодизайнер. Ставится вопрос о том, что особенного этот профессионал может предложить Клиенту, принципиально отличного от спектра услуг других специалистов?

На взгляд автора, это умения *объяснить* Заказчику, *выразить графически и реализовать* понимание взаимодействия различных видов освещения и архитектурной формы, наложенное на особенности зрительного и эмоционального восприятия человека – по сути уникальный набор знаний.

Если говорить о наружном освещении – это в**и**дение того, как освещение нового объекта (или объектов) может изменить городское пространство. В**и**дение складывается из нескольких позиций: эстетической (новый образ, ассоциативный ряд, художественное качество светового пространства), психоэмоциональной (как изменится настроение людей, а соответственно и их поведение), функциональной (оптимальная реализация задуманной концепции).

В статье Д. Макарова очень полно описан спектр знаний со стороны светотехники, которыми должен обладать светодизайнер. Хочется задать вопрос автору – при такой широте кругозора светодизайнера, в чем будет состоять роль светотехника? Или эта профессия просто уйдёт за ненадобностью?

Светодизайнер от архитектуры может дополнить этот список со своей стороны: здесь и понимание структуры города в целом, и умение проектировать освещение с учётом различных масштабов восприятия – ландшафтный, ансамблевый, камерный; знание разницы в восприятии пространства пешеходом и водителем – иначе как работать с городской средой? Необходимо разбираться в стилях архитектуры, уметь «считывать» философию здания, понимать его композицию (выявлять композиционный центр, выстраивать иерархию главных и второстепенных элементов, чувствовать ритм, и т.д), – иначе как говорить о ночном образе здания, если специалист не может сформулировать, чем определён образ здания при свете дня? А интерьеры? Это свой отдельный мир. и тд., и тд, и тп.

Думаю, психофизиолог способен составить не меньший список умений и знаний необходимых для работы светодизайнера.

Способен ли профессионал быть настолько универсальным, чтобы иметь в активном багаже весь этот набор?

Сегодня, все мы, кто трудится на этой ниве, как говорит Н.И. Щепетков – «самоучки», пришедшие в профессию, кто от архитектуры, кто от светотехники, кто из смежных специальностей. Думаю, для каждого из нас, так и останется приоритетной та область, по которой он имеет фундаментальное образование. Мы птицы «с одним крылом».

Для развития профессии и её официальной регистрации, безусловно, есть необходимость в создании профессиональной ассоциации и систематизации накопленных знаний, образования **совместных** учебных центров (этот процесс уже идёт).

Полагаю, что должна быть выработана специальная образовательная программа, в которой дисциплины по архитектуре, светотехнике, психологии восприятия будут преподаваться в сопоставимом объёме. Слушатели будут учиться проектировать как свет, так и освещаемые им объекты.

В такой системе логичным кажется появление специализаций: наружное-внутреннее освещение, и более узких градаций внутри каждой из них, наличие специфических знаний и умений в каждой теме. (На практике эти градации существуют, но неофициально и весьма размыто. Наблюдается интересная и в то же время печальная тенденция: чем больше серьёзных работ по освещению за плечами Компании или Эксперта, тем за более скромный круг задач он берётся. К сожалению, верно и обратное. «Новички» смело заявляют, что способны выполнить проект по освещению экспозиции музея, реализовать Энергосервисный контракт, осветить здание храма, да ещё и обучить светодизайну впридачу. Проектирование, конечно, для Заказчика «бесплатно»).

Полагаю, что назрела необходимость ввести систему оценки специализации и квалификации практикующих светодизайнеров, и соответствующую последней степень ответственности за результат не только перед непосредственным Заказчиком, но и перед профессиональным сообществом.

[1] Путь к карьере светодизайнера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=p2YpEkXEs7o

Правила оформления рукописей, подаваемых в журнал «Светотехника»

Журнал публикует неопубликованные нигде ранее результаты оригинальных исследований и обзорные статьи на русском языке по различным направлениям светотехники. Рукописи статей принимаются на русском и (или) английском языках. Все авторы несут ответственность за содержание статьи. Плата с авторов за публикацию не взимается, гонорар не выплачивается.

Структура статьи

Статья должна иметь структуру *IMRAD*:

1. Название
2. Авторы
3. Аннотация 200–250 слов.
4. Ключевые слова на русском и английском языках не более 10 слов
5. Введение (Introduction)
6. Методы (Methods)
7. Результаты (Results)
8. Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (Acknowledgement)
9. Дискуссия или заключение (Discussion)
10. Список литературы. Желательно не менее 10–12 источников литературы, причём из них около 40 % иностранные источники.

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

Список литературы

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

Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

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

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

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

Оформление статьи

Оформление списка авторов

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

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, занятие научно-общественной деятельностью, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронной виде: не менее 25×32 *мм*, от 300 *dpi*.

Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоминания в тексте. Название иллюстрации или рисунка пишется после номера таблицы или рисунка.

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

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

Используемые сокращения

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

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

ВД – высокое давление

ВЧ – высокая частота

ГЛН – галогенная лампа накаливания
ГЛН НН – галогенная лампа накаливания низкого напряжения
ЗУ – зажигающее устройство
ИЗУ – импульсное зажигающее устройство
ИК – инфракрасный
ИС – источник света
КЕО – коэффициент естественной освещённости
КЛЛ – компактная люминесцентная лампа
КПД – коэффициент полезного действия
КСС – кривая силы света
ЛН – лампа накаливания
ЛЛ – люминесцентная лампа
МГЛ – металлогалогенная лампа
НЛ – натриевая лампа
НЛВД – НЛ высокого давления
НД – низкое давление
НЛНД – натриевая лампа низкого давления
НН – низкое напряжение
НО – наружное освещение
ОП – осветительный прибор
ОСД – органический светодиод
ОССД – освещение светодиодами
ОУ – осветительная установка
ПРА – пускорегулирующий аппарат
РЛ – разрядная лампа
РЛВД – разрядная лампа высокого давления
СВД – сверхвысокое давление
СВЧ-лампа – сверхвысокочастотная лампа
СД – светодиод
СДЛ – светодиодная лампа
СДМ – светодиодный модуль
СП – световой прибор
УФ – ультрафиолетовый
ЭмПРА – электромагнитный ПРА
ЭПРА – электронный ПРА
ЭУ – электроустановочное устройство
λ – длина волны
η_v – световая отдача (источника света)
$T_ц$ – цветовая температура
$T_{кц}$ – коррелированная цветовая температура (КЦТ)
R_a – общий индекс цветопередачи
Φ_e – поток излучения
Φ_v – световой поток
I_v – сила света
L_v – яркость
E_v – освещённость
$V(\lambda)$ – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного зрения.

Оформление списка литературы

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

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

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

Например:

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

Шуберт Ф. Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича.– 2-е изд. -М: ФИЗМАТЛИТ, 2008.– 496 с.;

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

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

Каршенбойм С.Г. Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДАТА2006) // УФН.– 2008. – Т. 178, № 10. –С. 1057–1064.

Патент РФ № 2159021, 04.12.2000.

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

Официальные периодические издания:

электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка

Центр правовой информации. [СПб], 2005–2007

URL: www.nlr.ru/lawcenter/izd/index. html (дата обращения: 18.01.2007).

Форма приёма статьи

Максимально допустимый объём статьи, как правило, 12 машинописных страниц формата *А4* и содержит не более 8 рисунков. Статья представляется в электронном виде, расширение имени файла – *doc* или *docx*, шрифт *Times New Roman*, размер шрифта –12, междустрочный интервал – 1,5, поля – верхнее и нижнее – 2, левое – 2,5, правое – 1,0).

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

Предпочтительные форматы рисунков: *jpg*, *png*, *tif, tiff, pdf.* Растровые рисунки должны иметь разрешение не менее 300 *dpi*. Оригиналы рисунков должны быть приложены отдельными файлами. Для векторных изображений желательно приложить оригинал в векторном формате. Графики, созданные в *MS Excel*, допускается передавать в документе *MS Word* вместе с текстом статьи. Необходимо учесть, если используются рисунки из других источников (например, Интернет), что каждый рисунок имеет автора, что должно быть указано.

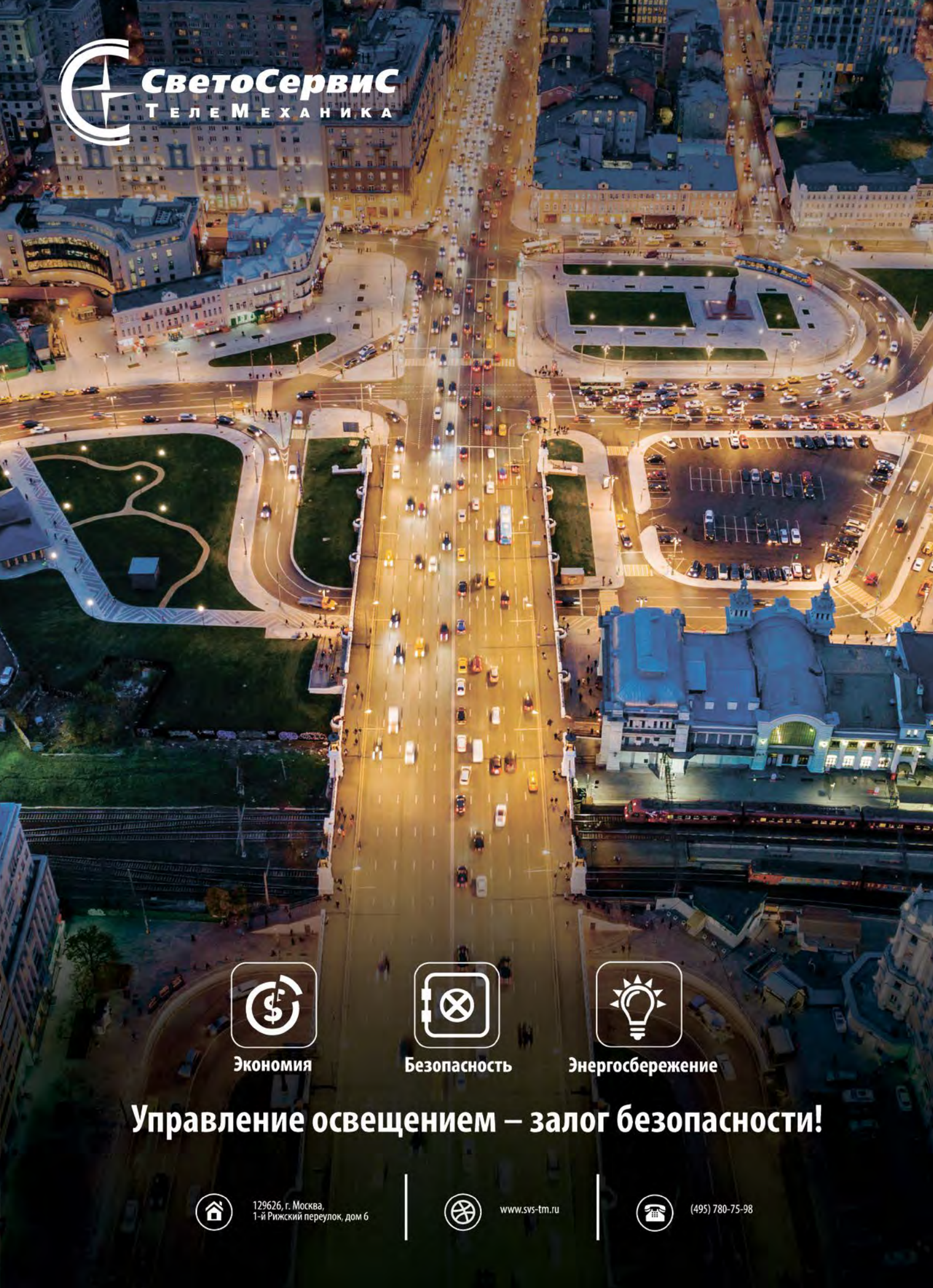
Формулы в рукописи статьи должны быть набраны в программе *MathType*. Не принимаются статьи с формулами, набранными новым встроенным в *Microsoft® Word* (*Word* 2007–2016) редактором формул *EqEd*. Статьи подаются в том формате *doc* или *docx* редактора *Microsoft® Word*, что и были созданы – не допускается конвертация из одного формата в другой. Предпочтительным является формат doc редактора *Microsoft® Word* 2003.

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

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

Холдинг BL GROUP

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-42849 от 01 декабря 2010 г., выданное Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Тираж 1200. Цена свободная.


СветоСервиС
ТелеМеханика
Экономия
Безопасность
Энергосбережение
Управление освещением – залог безопасности!
129626, г. Москва,
1-й Рижский переулок, дом 6
www.svs-tm.ru
(495) 780-75-98

LIGHTING SOLUTIONS

«ComfortLine Industry» – блоки питания для производственного освещения

Новые блоки питания серии «ComfortLine Industry» со стабилизацией тока от компании Vossloh - Schwabe рассчитаны на установку в линейные светодиодные светильники для освещения производственных помещений.

Предлагаются два типа блоков питания: ECXe 800.262, с максимальной выходной мощностью 120 Вт,и ECXe 800.263, с максимальной выходной мощностью 165 Вт.
Выбор значения выходного тока осуществляется в диапазоне 400...800 мА посредством протокола LEDset.

Технические характеристики:
- степень защиты: IP 20;
- класс защиты: I;
- защита от пиковых перенапряжений: до 2 кВ (между L и N) до 4 кВ (между L,N и PE) ;
- электронная защита от короткого замыкания;
- защита от перегрева;
- защита от режима холостого хода;
- эффективность при полной нагрузке: 96%.

Более подробная информация - на www.vossloh-schwabe.com

БОЛЬШОЙ СРОК СЛУЖБЫ:
до 100000 ч

ОЧЕНЬ НИЗКАЯ ПУЛЬСАЦИЯ ТОКА

ПРИГОДНЫ ДЛЯ РАБОТЫ В СИСТЕМАХ АВАРИЙНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

ГАРАНТИЯ: 5 ЛЕТ

A member of the Panasonic group Panasonic