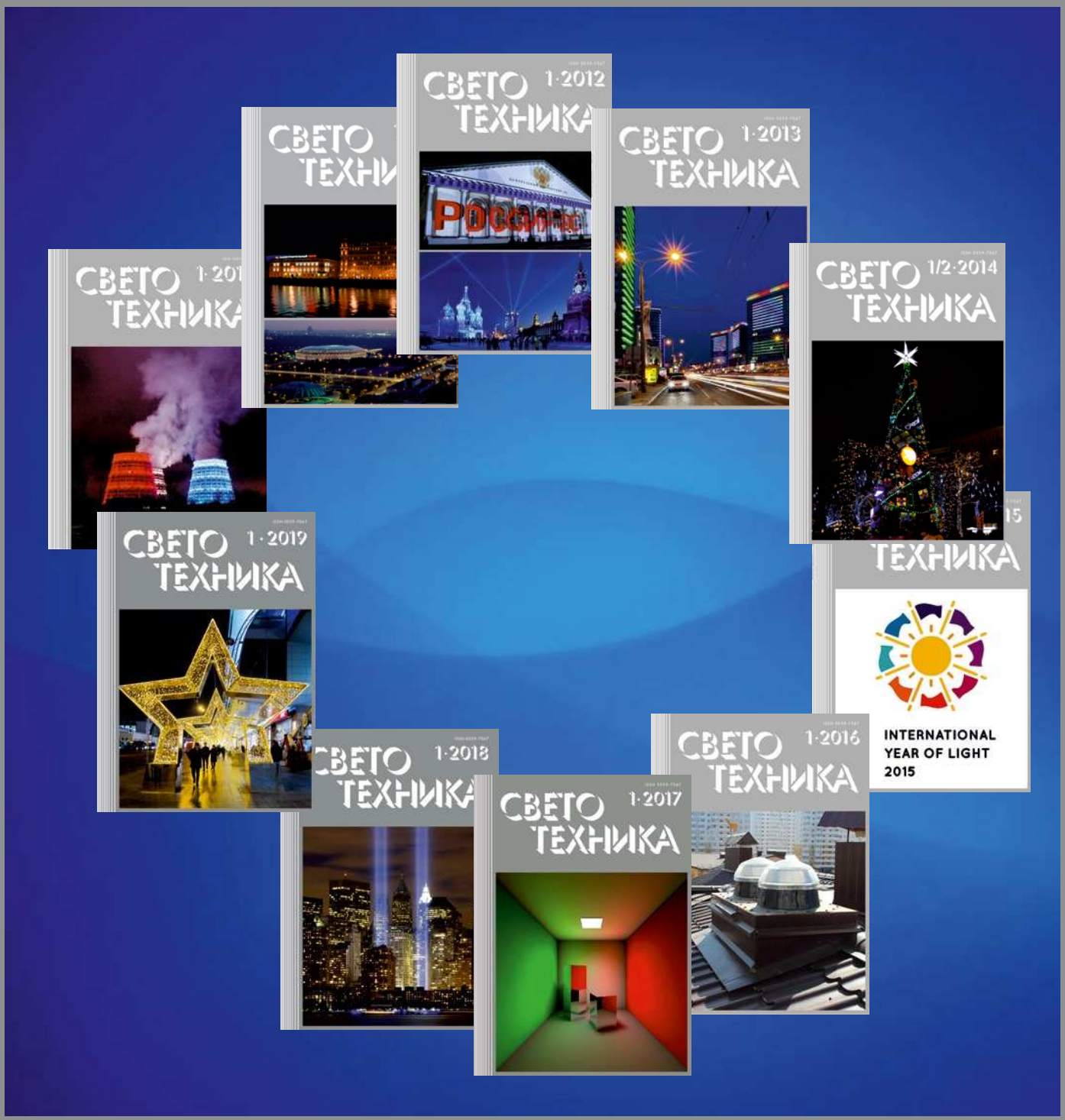
ISSN 0039-7067

СВЕТО ТЕХНИКА

1·2020



opora
engineering
Наши преимущества:
• Широкий ассортимент
• Сертифицированная продукция
• Изготовление кронштейнов по индивидуальному техническому заданию или эскизу
Качество
Надежность
Оперативность
Россия, г. Москва, проспект Мира, 106
opora-e.com
(495) 785-37-40

2010-е: о времени, журнале и светотехнике

Ю.Б. Айзенберг
д.т.н., проф., академик АЭН РФ

В.П. Будак
д.т.н., проф., академик АЭН РФ

Мы не верим в магию цифр, однако круглые даты задают естественный период подведения итогов, оценки пройденного и прогнозов на будущее. Тем более, период развития техники в наше время равен порядка 5 лет. Поэтому оценка пройденного за 2010-е гг. наукой светотехникой пути является естественной, а на базе анализа, конечно, всегда хочется сделать и прогноз на развитие светотехники в следующее десятилетие.

Начнём наш анализ с первого абзаца журнала № 1 за 2010 г. в передовой статье главного редактора Ю.Б. Айзенберга: «На улице светотехников большой праздник. Впервые органы государственного управления под давлением энергетического кризиса обратили внимание на важность для страны, экономики и культуры современного развития светотехнической науки и производства. Президент страны Д.А. Медведев 30 сентября 2009 г. среди важных проблем государства, задач его развития выдвинул проблему «Новый свет», заключающуюся в массовом поэтапном уходе от ламп накаливания и замене их на более энергосберегающие новые современные световые устройства ...»

К этому времени в России завершался стремительный переход от общегосударственной собственности к частной, государственный сектор науки находился в тяжелом состоянии, а частные вложения в науку, по сути, только начинали появляться. При всей важности программы «Новый свет», она не предполагала серьезных научных исследований, а носила организационный характер и инженерную деятельность по внедрению новых технологий, проектированию световых приборов. Такое положение привело к резкому уменьшению числа статей, а те, что приходили, являлись не оригинальными исследованиями, а чаще расчётно-аналитическими обзорами возможностей систем освещения на светодиодах. Как следствие, отсутствовали ссылки на опубликованные работы, что определило низкий импакт-фактор журнала и незначительный интерес в публикации со стороны активных исследователей.

Начало 2010-х гг. явилось временем стремительной реализации тех поистине тектонических сдвигов в светотехнической науке, в которых, прежде всего, выделим развитие светодиодных источников света и световых приборов на их основе, развитие систем управления освещением на основе сетевых технологий, внедрение компьютерной графики в процесс проектирования осветительных установок. Главный редактор журнала Ю.Б. Айзенберг принял в это время мудрое решение о привлечении ведущих зарубежных исследователей с обзорами их направлений исследований. Это позволило журналу стать идейным лидером в реализации программы «Новый свет».

Не менее важным вопросом встало финансирование издания журнала. Качественное издание научно-технического журнала подразумевает рецензирование при-

Рис. 1. Рост числа ссылок на публикации в журнале по годам издания

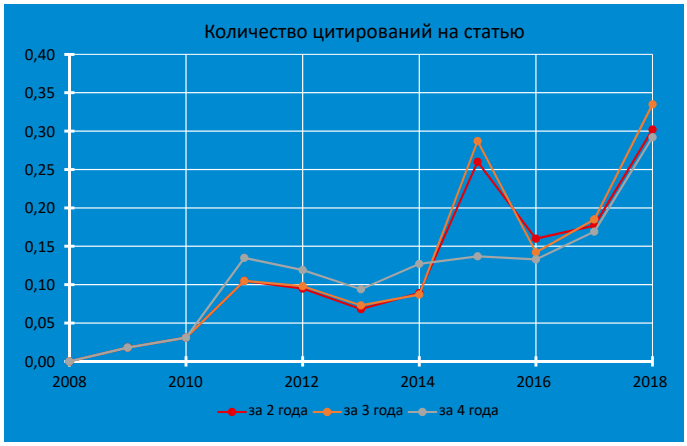


Рис. 2. Количество цитирований на статью по годам

Рис. 3. Ссылки, исключая самоцитирование

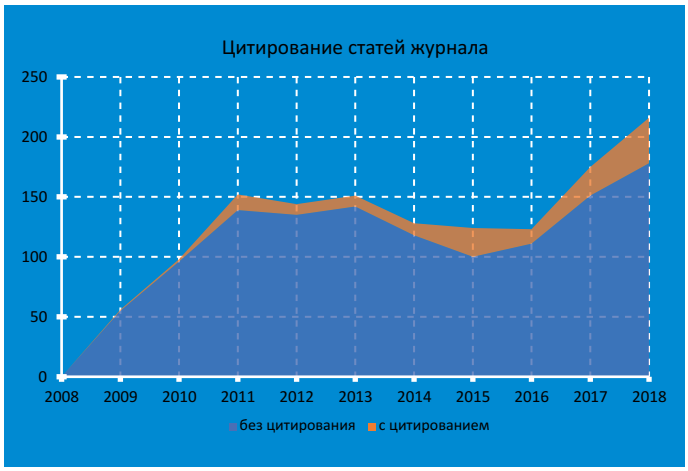


Рис. 4. Доля статей журнала, цитируемых в других статьях

ходящих рукописей научных статей, их редактирование после принятия к печати и вёрстку. Для вхождения в международные наукометрические платформы такие как *Scopus* и *Web of Science* необходимо было переводить и издавать английскую версию журнала «*Light & Engineering*». Отметим, что для светотехнического журнала, где значительную роль занимает восприятие объектов глазом человека, очень важна высококачественная полиграфия.

Уменьшение интереса к научным исследованиям привели к сокращению объёма подписки и, как следствие, получения рекламно-информационных материалов. То есть сократились финансовые поступления, позволявшие журналу иметь финансовую независимость. В этих условиях редакция была вынуждена искать спонсоров. Эта была долгая история, которая в настоящее время завершилась созданием ООО «Редакция журнала «Светотехника», где главную роль финансирования издания журнала взял на себя холдинг «Боос Лайтинг групп». Хочется отметить, что в лице холдинга и особенно его руководителя Г.В. Бооса мы имеем подлинное возрождение традиций меценатства в России, когда меценат осознаёт и несёт не только государственную, но и историческую ответственность за развитие науки светотехники. Отметим, что редакция журнала никогда не испытывала от генерального спонсора никакого давления на издательскую политику журнала.

Одновременно и в стране происходит изменение в отношении с наукой. Появилась стабильная тенденция к росту доли бюджетного финансирования затрат на исследования и разработки. В 2012 г. доля бюджета в общем объёме средств составила 66 %. Разумная стратегия редакции журнала и общее развитие в стране привело журнал к уверенному положению среди научно-технических журналов сегодня. Динамику главного показателя журнала – количество ссылок на опубликованные работы – можно видеть на рис. 1, или в более наглядной форме количества цитирований на 1 статью на рис. 2.

На рис. 3 представлен график зависимости ссылок по годам, исключая самоцитирование, что демонстрирует использование материалов, опубликованных в нашем журнале, не самими авторами статей, что, наверное, и является главной целью издания журнала. На сегодняшний день наш журнал характеризуется параметрами: *CiteScore* = 0.34, *SJR* = 0.208, *SNIN* = 0.407; *h*-индекс = 7. Наш журнал находится в III квартиле.

Рис. 4 показывает, что хотя успехи значительны, но куда расти, ещё есть: на сегодняшний день только 21 % статей цитируется в других статьях, а почти 80 % остаются незамеченными и практически не влияют на научный прогресс.

Однако усилий только журнала недостаточно для активного развития науки, чтения, использования в научных исследованиях и цитирования. Очень важна востребованность исследований. Например, во ВНИСИ им С.И. Вавилова для выполнения работ по фитооблучательным установкам – теме, которая по своим публикациям за 3 года работы вышла в лидеры по числу цитирований – 9 ссылок. Этот факт наглядно показывает, что публикации в научно-техническом журнале являются не самоцелью, а важнейшим средством научных исследований.

Если же сравнить по тематике публикаций, то на сегодняшний день журнал охватывает все аспекты применения света в фотометрическом, лучевом приближении, т.е. журнал «Светотехника» существенно шире одной только техники освещения. Несомненно, светотехника возникла во многом из потребностей развития и пропаганды электрического освещения. Своим развитие на рубеже XIX–XX вв. светотехнике удалось победить ночь, сделать комфортными условия для работы, учёбы и отдыха в любое время суток, что во многом определило тот огромный прогресс наук и техники, который произошел в XX в.

В своем развитии в светотехнике первоначально для расчётов освещения возникла теория светового поля, которая существенно превосходит нужды освещения. На сегодняшний день полностью выявлена природа светового как фотометрического, лучевого описания света. Поначалу казавшаяся сугубо феноменологической, приближенной, эта теория на сегодня является строгой в рамках границы своей применимости. При этом выявляется характерный масштаб длины: если изменения поля малы на этом масштабе, то справедлива теория

светового поля, если нет, то это область волновой оптики, а масштаб есть длина волны.

Теория светового поля давно стала применяться для расчётов и проектирования систем незрительного действия, так называемых облучательных установок сушки, дезинфекции, в сельском хозяйстве, медицине, в связи и технологических операциях. В настоящее время зрительное и незрительное действие в тематике журнала занимают приблизительно равное место.

Здесь естественным образом следует перейти к прогнозам развития светотехники и журнала в 2020-е гг. Конечно, прогноз – дело исключительно неблагодарное. Если воспользоваться образным геометрическим представлением Г.Ф.В. Гегеля, то развитие происходит по спирали. Мы всегда знаем только состояние в данной точки, а потому прогноз строим по производной спирали в этой точки. Поэтому долгосрочные прогнозы крайне редко бывают удачными. Известен прогноз одного из величайших физиков Дж.П. Джоуля, что, по его мнению, электродвигатели никогда не вытеснят лошадь, потому что стоимость цинка, расходуемого в батареях, больше стоимости овса, который съедает лошадь, выполняющая ту же работу. Эту мысль очень красиво и образно выразил Владимир Набоков в романе «Под знаком незаконнорожденных» (1947): «Пытаться составить карты нашего «завтра» по данным, предоставленным нашим «вчера», – значит пренебрегать основным элементом будущего – его полным несуществованием». С учётом этих оговорок попробуем сделать прогноз на наступающее десятилетие.

Представляется, что как в науке и, как следствие, в журнале будет расти количество разработок и публикаций о незрительной области применения света. Оговоримся, что мы не имеем в виду волновую оптику, имеющую свои теории и методы. Однако видится, что область волновой оптики существенно уже. Яркий тому пример – лазер, который в подавляющем большинстве разработок выступает просто как источник прожекторного типа с очень высокой направленностью и монохроматичностью. Часто разработчики упоминают когерентность, не раскрывая конкретного содержания этого понятия. Но что такое когерентность? – свойство образовывать при наложении интерференционную картину. Так ли важна интерференция во многих приложениях? На сегодня очевидно, что и сам лазер с успехом может заменяться светодиодами.

В области традиционной, «зрительной» светотехники главное внимание сосредоточится на качестве освещения. Переход на высокоэффективное освещение на светодиодах освобождает мощности, которые и следует направить на повышение качества освещения. Более того, уже сейчас видно, что современные световые приборы на базе светодиодов и системы управления освещением в принципе позволяют создать любое освещение. Это то, что сейчас получило неопределенное направление *Human centric lighting (HCL)*, что можно перевести как ориентированное на человека освещение. Главный редактор журнала «*Lighting technology & research*» *P. Boyce* очень точно определил, что это не научное направление или новая технология, а философская концепция, которой стоит руководствоваться при проектировании осветительных установок. Главными показателями здесь являются слепящее действие источников, цветовая среда, пульсации или, применительно к светодиодам, временная модуляция света, которые должны быть комфортными для человека.

Наверное, трудно ошибиться, сказав, что будет продолжаться цифровизация, где на одно из первых мест уже выходит искусственный интеллект. Представляется, что проектирование освещения стандартных помещений может производить именно искусственный интеллект, что позволит объединить в единую информационную модель зданий и сооружений со всеми объектами инфраструктуры, включая водные, газовые, электрические и осветительные сети. Это уже сейчас начинает воплощаться в так называемых *BIM (Building Information Model* или *Modeling*) моделях.

Можно с уверенностью предполагать увеличение скорости и объёма передачи данных, что должно привести к подключению большого числа устройств – единая система устройств, включая системы управления освещением. Сюда же следует включить широкое распространение беспилотных устройств, систем освещения с автономным питанием. Многие источники информации выдвигают прогноз о существенном прогрессе в области аккумуляторов. Проблемы солнечной энергетики. Конечно, для таких систем остаётся открытым вопрос их защиты от виртуальных и физических атак.

Как отдельное направление цифровизации технологии *AR/VR*. Виртуальная реальность *VR (virtual reality*) создаёт техническими средствами мир, передаваемый человеку через его ощущения: зрение, слух, обоняние, осязание и другие. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Дополненная (расширенная) реальность *AR (augmented reality)* – технологии, которые дополняют реальный мир, добавляя любые сенсорные данные. В разработке таких систем важнейшее место занимает светотехническая проблема восприятия окружающего мира зрением человека, что является в колориметрии направлениями *CAT / CAM (Chromatic Adaptation Transform / Color Appearance Models* – модель преобразования хроматической адаптации / модель цветового восприятия) и следует ожидать активного их развития.

Общим развитием технологии, которое, несомненно, затронет и светотехнику, будет использование новых материалов и дальнейшее развитие 3*D*-печати.

В завершение анализа современного состояния журнала добавим, что сегодня наряду с журналами «Светотехника» и «*Light & Engineering*» редакция издает журнал «Светотехника для детей и их родителей», в котором мы хотим возвродить и продолжить замечательные традиции Советских журналов «Квант», «Юный техник» и многих других, популяризовавших науку среди молодежи. В настоящее время вышло 3 номера, готовится № 4. Мы приглашаем к сотрудничеству всех заинтересованных лиц. Тематика детского журнала значительно шире светотехнике – о свете во всех его проявлениях.

СВЕТОТЕХНИКА
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., академик АЭН РФ; budak@l-e-journal.com

Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии
Р.И. Столяревская, д.т.н.; stoly@l-e-journal.com

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
М.Л. Белов, д.т.н., проф., НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва
Т. Берген *(Tony Bergen)*, Технический директор Photometric Solutions International, Австралия
Г. Бизяк (*Grega Biziak*), Люблянский университет, Словения
Л. Билунд *(Lars Bylund)*, Bergen's School of architecture, Норвегия
П.Р. Бойс *(Peter R. Boyce)*, Lighting Research Center, США
П. Блаттнер (*Peter Blattner*) Федеральный Институт Метрологии METAC, Швейцария
В. ван Боммель *(Wout van Bommel), Philips Lighting*, Нидерланды
А.А. Богданов, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург
Н.В. 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
О.Е. Железникова, к.т.н., МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва
Т. Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт, Турция
А.А. Коробко к.т.н., БЛ Групп, Москва
С. Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур, Индия
Д.А. Мельников, Министерство Энергетики РФ, Москва
Э. Миллс *(Evan Mills), Lawrence Berkeley Laboratory*, США
Л.Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»
Й. Оно *(Yoshi Ohno)*, NIST Fellow, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США
А.Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск
Л.Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Л.Р. Ронки *(Lucia R. Ronchi)*, Higher School of Specialization for Optics, University of Florence, Италия
А.А. Рябцева, д.м.н., проф., МОНИКИ, Москва
А.К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва
К.А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург
П. Торнс (*Peter Thorns*), Zumtobel Group, Австрия
Г. Циссис (*Geordes Zissis*), университет Тулузы, Франция
А.Г. Шахпарунянц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ru
Старший научный редактор
Е.И. Розовский; rozovskiy@vnisi.ru
Научный редактор
С.Г. Ашурков; ashurkov@l-e-journal.com
Научный редактор
А.Ю. Басов; basov@bl-g.ru
Выпускающий редактор
П.А. Федорищев; fpa@l-e-journal.com
Зав. редакцией
М.И. Титаренко; titarenko@l-e-journal.com
Стилист английской версии
М.Д. Виноградова
Секретарь редакции
Е.А. Булгакова; bulgakova@l-e-journal.com
Дизайнер-верстальщик
А.М. Богданов
Контент-менеджер
Е.С. Серый

ИНОСТРАННЫЕ КОРРЕСПОНДЕНТЫ

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

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

Сдано в набор 21.01.20. Подписано в печать 06.02.20
Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

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

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

СОДЕРЖАНИЕ 1·2020

В НОМЕРЕ

ЯНВАРЬ • ФЕВРАЛЬ

Бизнес и инновации 26, 59, 63

Айзенберг Ю.Б., Будак В.П. 2010-е: о времени, журнале и светотехнике 1

Воронов В.В., Щепетков Н.И. О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Часть I. Теоретические основы и результаты натурных исследований 6

Герри Э., Циссис Ж., Комон С., Каналь Л., Бешар Э. Световая и цветовая среда для престарелых 12

Будак В.П., Желтов В.С., Мешкова Т.В., Чембаев В.Д. Экспериментальное исследование нового критерия качества освещения на основе анализа распределения яркости на станциях Московского метрополитена 20

Скорик Ю.А. О влиянии освещения светодиодами и его динамики на зрительные функции и общее состояние наблюдателя 27

Аталар Ф., Узун К., Гедикли А., Йылмаз А.Е., Уур М. О влиянии источников света на цвета объектов 31

Жбанова В.Л. Исследование методов определения цветовых различий в равноконтрастной колориметрической системе *CIELAB* 36

Тереджи А., Озата О. Анализ и стратегия проектирования зонального освещения участка «Музей Мевланы – Культурный центр “Мевлана”» в г. Конья 41

Яо Ц., Чэнь Л.И., Цзинь У. Неопределённость характеристик естественного освещения при использовании регулируемых вручную солнцезащитных устройств и её влияние на расходуемую на освещение энергию 48

Старшинов П.В., Попов О.А., Иликеева Р.А., Буреева Д.А., Ирхин И.В., Левченко В.А., Терехов Г.П. Эффективный источник УФ излучения на основе бесферритного индукционного ртутного разряда в замкнутой трубке малого диаметра 56

Гиясов А.И. Моделирование инсоляционного режима застройки с применением инсопланограммы 60

Икстена П.Р., Пучета А.А., Колонна К.Л., Буфо Н. Оценка аргентинских светодиодных светильников для уличного освещения 66

Юссиф Р.А., Сахаб А., Циссис Ж., Малеб В., Хамади М. Расчёт полных объёмных коэффициентов излучения разрядных ламп высокой интенсивности 71

Чаттерджи С., Рой Б. Разработка и практическая реализация установки внутреннего освещения с возможностью передачи данных видимым светом 76

ХРОНИКА

Новости Международной комиссии по освещению 59

В.В. Бармину – 80 лет 86

Лесман Е.А. Летопись инженерных систем Эрмитажа 87

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Международные конференции и выставки в 2020 году (II квартал) 55

Правила оформления рукописей, подаваемых в журнал «Светотехника» 92

Читайте в следующем номере 94

СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика» 88

Чуканова А.С. Освещение художественной мастерской 88

Краснов С. Проект освещения «зелёного» эко-кафе 89

Серпикова А.О. Освещение концертной площадки 91

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Светлые решения для умного города от МСК БЛ Групп 64

Светильник со светодиодами производства Кадошкинского электротехнического завода 85

Инновационные решения в освещении для столицы и регионов 95

Стоимость подписки на 2020 год 96

Opora *Engineering*: Качество, надёжность, оперативность ..... **2 с. обл.**

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

Лихославльский завод «Светотехника»: российское производство с качеством мирового уровня ..... **4 с. обл.**

О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Часть I. Теоретические основы и результаты натурных исследований

В.В. ВОРОНОВ, *Н.И. ЩЕПЕТКОВ*

Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва
E-mail: n_shchepetkov@inbox.ru

Аннотация

Освещено содержание первой части оригинальной и актуальной, но, по сути, забытой диссертации В.В. Воронова по освещению производственных интерьеров с верхним светом – естественным (фонари трёх типов) и искусственным – с целью выработки научного метода архитектурного проектирования более качественной световой среды на основе комплексного подхода и расширенного критериального аппарата её оценки на базе светотехнических параметров.

Диссертация уникальна по объёму и качеству выполненных натурных и экспериментальных исследований, отражённых не только в её тексте, но и в графических приложениях – фотографиях, рисунках, схемах, чертежах, графиках, номограммах, диаграммах, сопровождаемых конкретными измеренными или вычисленными показателями. Первая часть диссертации содержит теоретические основы и результаты натурных исследований, проведённых разными методами.

Ключевые слова: метод проектирования, архитектурное освещение интерьеров, естественное и искусственное освещение, яркостная композиция, фонари верхнего света, типы пространства интерьера.

Введение

На задачах проектирования освещения производственных интерьеров с целью повышения производительности труда появилась и энергично выросла в XX в. светотехника как прикладная наука, обобщившая предшествующий эмпирический опыт и предложившая практические методики расчёта, а затем – нормирования и проектирования характеристик световой среды в интерьерах при естественном и искусственном освещении. При этом визуальной эстетике среды, создаваемой объёмно-пространственным решением, освещением и отделкой помещений, т.е. путём яркостной композиции, практически не уделялось должного внимания.

Исторически проблеме естественного освещения помещений в нашей стране большее внимание уделяли архитекторы (Н.М. Гусев, Н.В. Оболенский и др.) и инженеры-строители (А.М. Данилюк, Б.А. Дунаев, Д.В. Бахарев и др.), нежели классические светотехники (В.В. Мешков, М.М. Епанешников, А.Б. Матвеев и др.), поскольку с ней непосредственно связано архитектурное формообразование зданий и выбор эффективных систем естественного освещения. Увы, этот атавизм в светотехнической науке заметен и сегодня.

Указанную выше масштабную и актуальную задачу для производственных интерьеров с верхним естественным светом в 1967 г. взялся решить аспирант МАРХИ архитектор В.В. Воронов (1939–2016 гг.) под руководством проф. Н.М. Гусева на кафедре строительной физики. Он своими руками по своему проекту соорудил искусственный небосвод зеркального типа[1] с частично диммируемым освещением люминесцентными лампами со стороны пола [1] и провёл в 1971–1984 гг. массу экспериментальных статистических исследований на макетах производственных интерьеров с тремя типами фонарей верхнего естественного света: П-образных (прямоугольных), пилообразных (шедовых) и точечных зенитных. А до этого и параллельно с этим он вёл многочисленные натурные измерения и статистические оценки световой среды в реальных интерьерах фабрик и заводов с тремя вышеуказанными типами фонарей в Узбекистане и Москве. Все результаты обширных натурных и лабораторных измерений освещённостей люксметрами Ю-16 и Ю-17 (в т.ч. с отградуированными на фотометрической скамье в НИИСФ самодельными насадками для измерения цилиндрической ($E_ц$) и полусферической ($E_{2\pi}$) освещённостей) и яркомером ЯФ-1 (Ленинградского института охраны труда) тщательно обрабатывались и представлялись в виде оригинальных графических схем, формул и выводов.

В итоге многолетней кропотливой, тщательной и в высшей степени добросовестной работы родился убедительный системный метод проектирования синтетичного освещения – естественного с возможным локально-корректирующим влиянием дополнительного искусственного в дневное время – для обеспечения архитектурной эстетики производственного интерьера. Не только результаты комплексного анализа освещения интерьера (чего стоит хотя бы номограмма-«бабочка» для оценки качества освещения по распределению яркости (рис. 1)) всеми доступными тогда способами, но и сами эти способы заслуживают внимательного изучения. Больше никто столь объёмных и комплексных работ такого рода не проводил. Так что забытая диссертация В.В. Воронова [2] могла бы стать импульсом, примером для новых исследований в этой области на современном научно-техническом уровне.

Так уж сложилось, что автор, успешно защитив диссертацию (1984 г.), не озаботился ознакомить научную общественность с её замечательными результатами, намного опередившими своё время. Сегодня диссертации почему-то нет даже в библиотеке МАРХИ, ну разве что

[1] Под этим небосводом выполнены эксперименты и защищены диссертации в МАРХИ, даже раньше его создателя, несколькими аспирантами (В.И. Жердев, Г.Е. Чиркин, Е.В. Шангина и др.).

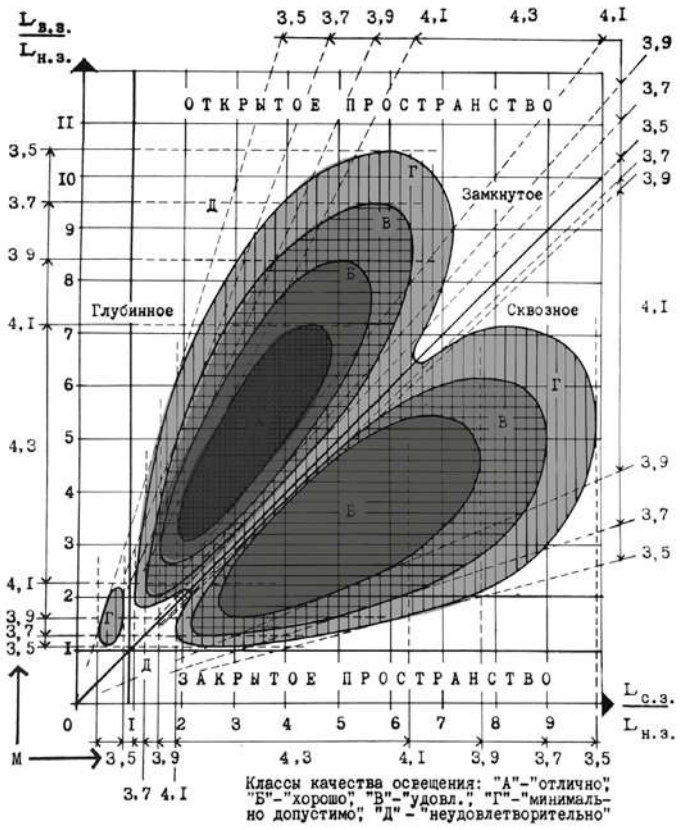


Рис. 1. Номограмма для оценки качества архитектурного освещения интерьера по распределению яркости

Рис. 2. Прогнозируемый эскизный проектно-графический образ интерьера с верхним естественным светом (П-образные фонари) и его световой образ на снимке

в РГБ[2]. Между тем кандидатские и магистерские исследования по естественному освещению в архитектуре интерьера, иногда проводимые (хотя и экзотически редко – в МГСУ, НИИСФ, Университете ИТМО, Самарском ГТУ и т.д.), стартуют с гораздо более низких научных отметок и не решают столь основательно подобных проблем. На правах друга, коллеги по работе и единомышленника по профессии я, Н.И. Щепетков, считаю своим долгом попытаться исправить эту ситуацию, изложив содержание диссертации В.В. Воронова на страницах журнала «Светотехника»[3] и, отцифровав, выложить её на сайте для всеобщего бесплатного доступа.

Сегодня освещение производственных интерьеров в быстровозводимых зданиях, растущих как грибы в тёплое лето после дождя, похоже, не является предметом научных исследований с точки зрения их зрительной эстетики. Проектировщики довольно лихо, используя современные технологии и светотехнические материалы, решают задачи естественного, совмещённого, искусственного или смешанного освещения на основе нормативных требований, не особо заморачиваясь на эстетике интерьера. Психологически, социально и экологически это большое упущение, т.к. в красивом интерьере при прочих равных условиях производительность труда повышается, становится меньше брака, стрессов, больничных листов и т.д. А для интерьеров общественных и жилых зданий это первостепенная задача. Поэтому проблема остаётся актуальной. При профессионально грамотном проектировании для её решения, как показывает последний раздел диссертации, даже дополнительные средства могут быть минимальны и быстро окупаемы.

Содержание диссертации предполагается изложить в 3-х статьях, начиная с данной, по числу её частей: Теоретические основы и результаты натурных исследований; Экспериментальные лабораторные исследования; Метод проектирования.

Теоретические основы светопространственной организации производственного интерьера с верхним светом, количественная и качественная оценка освещения интерьеров в натурных условиях

В данной, 1-й, части диссертации предметом исследования определена «световая среда интерьеров многопролётных цехов с открытыми перекрывающими конструкциями и естественным освещением через шедовые, прямоугольные и зенитные фонари», а целью – «разработка научно обоснованного метода проектирования архитек-

[2] В РГБ она находится в читальных залах отдела диссертаций РГБ (*Воронов, Владимир Васильевич*. Метод проектирования архитектурного освещения производственного интерьера: диссертация … кандидата архитектуры: 18.00.02. – Москва, 1984. – 121 с. + Прил. (39 с.: ил.). Архитектура зданий и сооружений. Хранение: OD61 86–18/14). Доступна и платная оцифровка диссертации. – Прим. ред.

[3] Оказалось, совсем не просто изложить сверхплотно «упакованный» содержательный материал диссертации, особенно её феноменальное по скрупулёзности исполнения графическое приложение на планшетах (качество сохранившихся фотографий с них, увы, низкое).

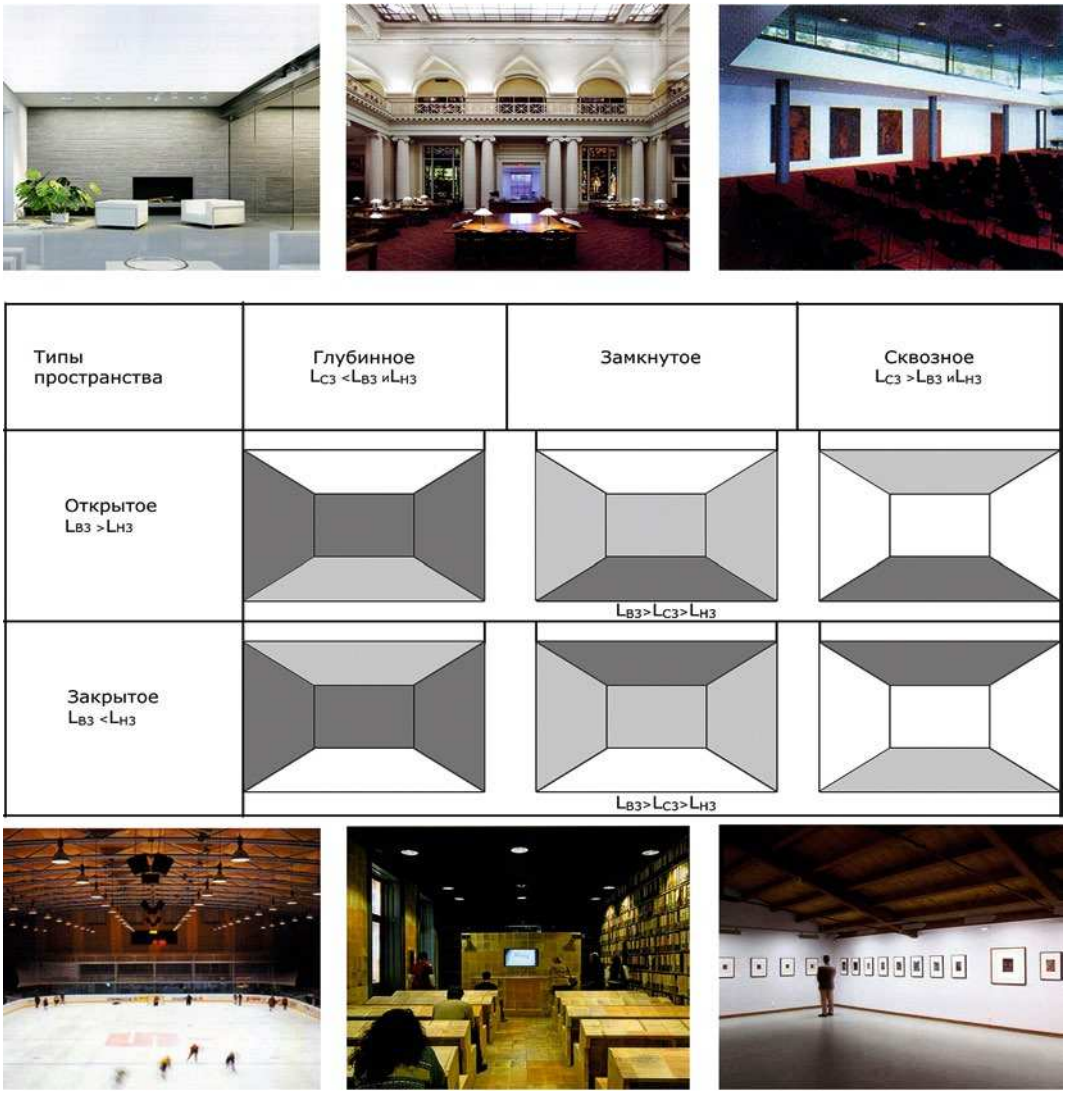


Рис. 3. Классификация типов пространства интерьера по характеру восприятия его яркостной композиции и её натурные аналоги

турного освещения производственных интерьеров промышленных зданий с верхним светом как средства обеспечения их светового комфорта и художественной выразительности» [2].

Научной новизной является разработка «методов объективной и субъективной оценки качества освещения интерьеров в лабораторных и натурных условиях с помощью графических тестов и анкет», а также «графических способов оценки качества освещения интерьеров по распределению яркости, контрастности освещения и светонасыщенности». Отдельный и заключительный параграф, ныне не включаемый (к сожалению) в диссертации, посвящён методике «экономической оценки архитектурного освещения интерьеров по различным схемам их светопространственной организации» [2].

Итак, анализ материалов предшествовавших отечественных и зарубежных исследований и изучение современных на тот момент (1970–80-е гг.) объёмно-планировочных и светотехнических решений производственных интерьеров с верхним естественным освещением в плане их светопространственной организации как эстетического фактора показали, что общая оценка качества визуальной среды определяется распределением и соотношением усреднённых яркостей $L_{вз}$, $L_{сз}$ и $L_{нз}$, соответственно, трёх основных интерьерных зон по вертикали в поле зрения (в зрительном кадре): верхней (потолок), средней (стены) и нижней (пол). Эта, в сущности, гипотеза базируется на первом критерии светотехнической классификации качества освещения – по распределению света в пространстве, оцениваемом по физическому фактору, на который непосредственно реагирует глаз: по яркости элементов окружения.

На проектной стадии световой образ интерьера – результат профессионального зрительного воображения архитектора (дизайнера), который формируется в его сознании в процессе разработки проекта и изображается на перспективном рисунке интерьера средствами архитектурной (а ныне компьютерной) графики в виде яркостной (светлотной) композиции (цветовая в данной работе не учитывалась). Далеко не всегда (если ни чрезвычайно редко) натурный образ реализованного интерьера хоть как-то совпадает с авторским проектным изображением по распределению яркостей (рис. 2). Главная причина – неучёт распределения и уровня освещения первоисточниками ограждающих поверхностей интерьера и их отражательной способности. Сегодня некоторые компьютерные программы визуализируют подобные ситуации достаточно правдоподобно, позволяя на проектной стадии корректировать параметры ОУ и выбор отделочных материалов, чего не было 20 и более лет назад.

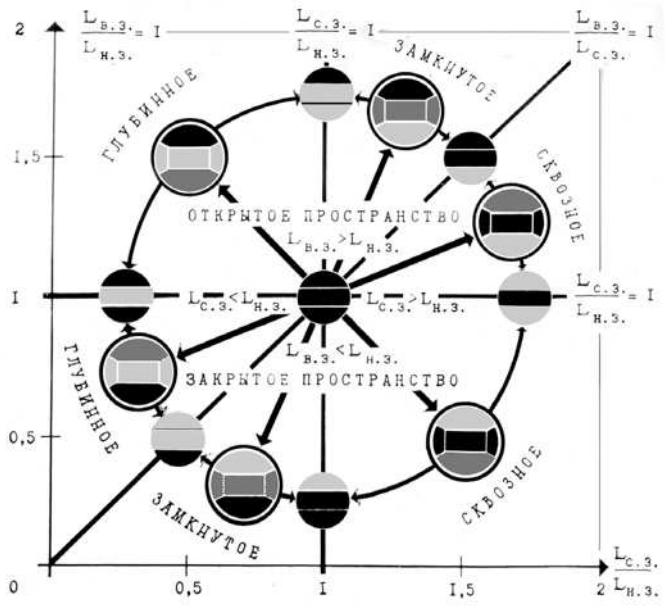


Рис. 4. Система типов светопространства интерьера

Всё многообразие этих существующих и возможных композиций и соотношений яркостей трёх зон в интерьере сложилось в определённую авторскую классификацию типов пространства по характеру его зрительного восприятия – «открытое» и «закрытое», при том, что каждое возможно в трёх вариантах – «глубинное», «замкнутое» и «сквозное» (рис. 3). Эта классификация навеяна отражёнными в графической части диссертации ассоциациями и сравнениями с дневными видами пейзажей при разной погоде и разнообразном распределении яркостей. Она расшифровывается системой типов пространства интерьера с ориентировочными относительными значениями соотношений усреднённых яркостей трёх зон поля зрения (рис. 3).

В этих схемах под «открытым пространством» понимается пространство интерьера, в котором $L_{вз} > L_{нз}$; под «закрытым» – $L_{вз} < L_{нз}$; под «глубинным» – $L_{сз} < L_{вз}$ и $L_{нз}$); под «замкнутым» – $L_{вз} > L_{сз} > L_{нз}$; под «сквозным» – $L_{сз} > L_{вз}$ и $L_{нз}$. Натурные аналоги интерьеров разного назначения и систем освещения приведены на рис. 4.

Для определения количественной связи между объективными (фотометрическими) и субъективными (зрительными) оценками качества освещения интерьера проведены натурные исследования при естественном и искусственном освещении. Для этого принимался следующий комплекс фотометрических характеристик: горизонтальная, полусферическая и цилиндрическая освещённости $E_Г$, $E_{2\pi}$ и $E_Ц$ соответственно, их КЕО при дневном свете e, КЕПО $e_{2\pi}$ и КЕЦО $e_ц$, а также контрастность освещения K[4], уровни яркости L и её распределение по верхней, средней и нижней зонам интерьера.

Одновременно с объективной (инструментально-фотометрической) оценкой качества освещения интерьера проводилась и субъективная – статистическими методами тестового и анкетного опросов для всех типов фонарей.

Методом тестового опроса оценивалось качество освещения интерьеров по распределению яркости. Тесты – перспективные графические изображения пяти вариантов яркостных композиций интерьеров при естественном освещении в виде зрительных кадров на листе формата *А4* с разными (рекомендуемыми, расчётными и наблюдаемыми в натуре) соотношениями $L_{вз}$: $L_{сз}$: $L_{нз}$ по взаимно противоположным направлениям линии зрения – вдоль и поперёк конструктивного пролёта цеха (рис. 5). Использовано семь тестов – три для интерьеров с шедовыми фонарями и по два – с П-образными и зенитными. Разное количест-

[4] Контрастность освещения K в пространстве интерьера определялась несколькими способами: отношением светового вектора $\vec{\varepsilon}$ к сферической освещённости $E_{4\pi}$ и отношениями $E_{Г,\,max}/E_{2\pi}$, $E_Г/E_{2\pi}$ и $E_Г/E_Ц$.

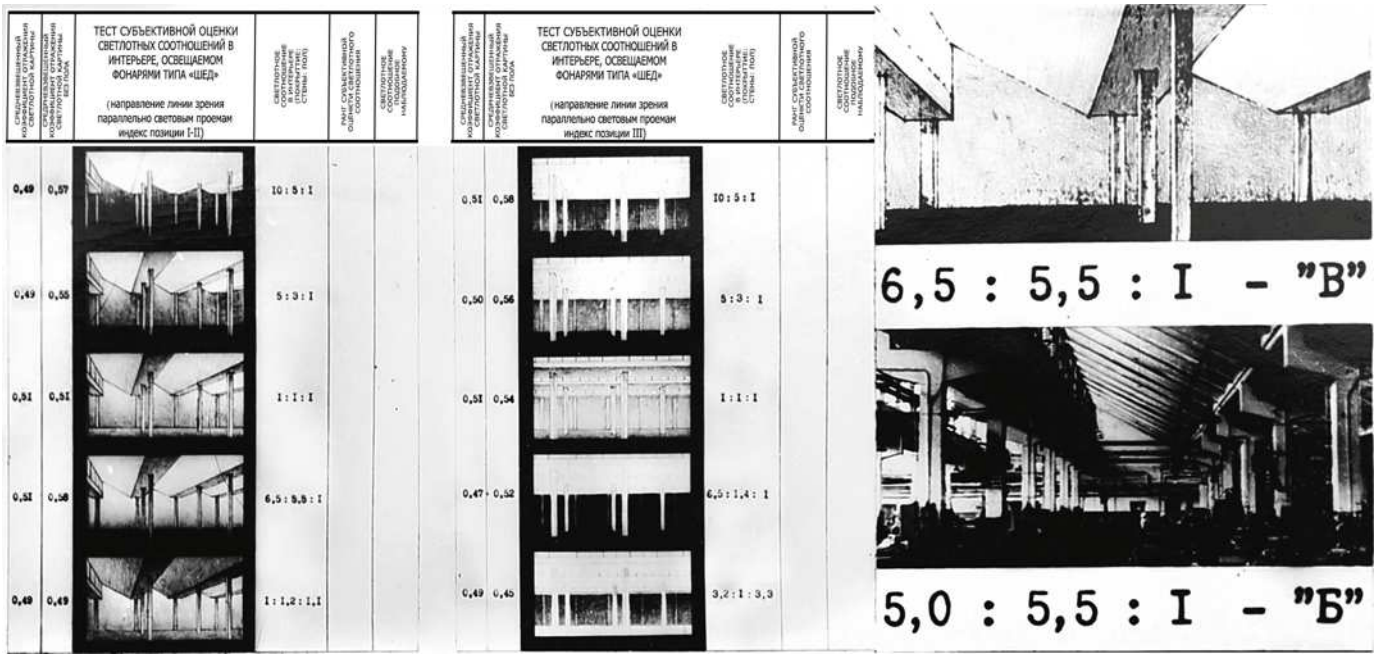


Рис. 5. Пример теста для субъективной оценки качества естественного и искусственного освещения интерьера с шедовыми фонарями (графические изображения и натурные снимки)

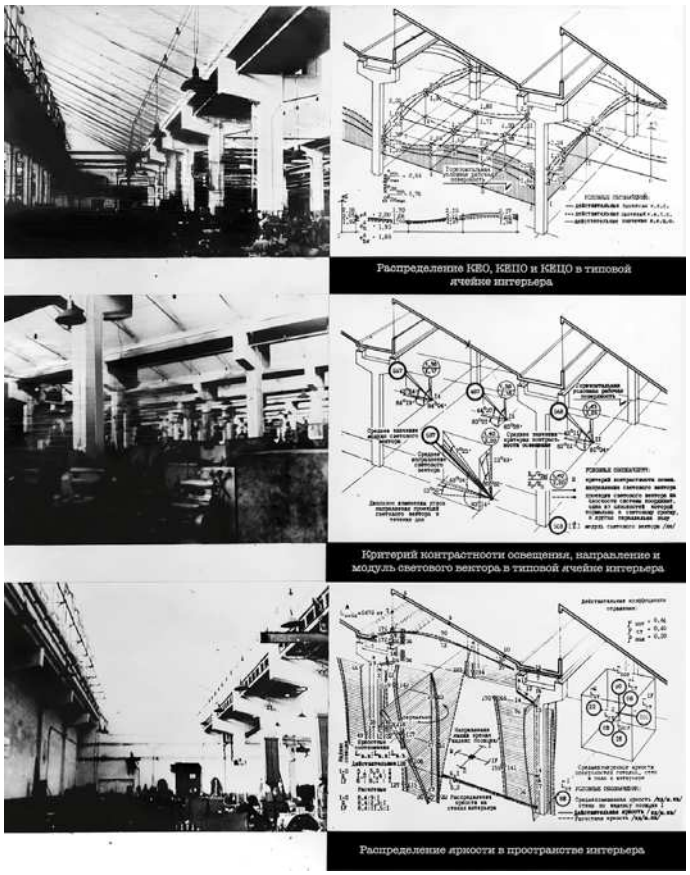


Рис. 6. Фотометрическая оценка качества естественного освещения в интерьере с шедовыми фонарями (как методический пример. Аналогичное в диссертации также есть для прямоугольных и зенитных фонарей)

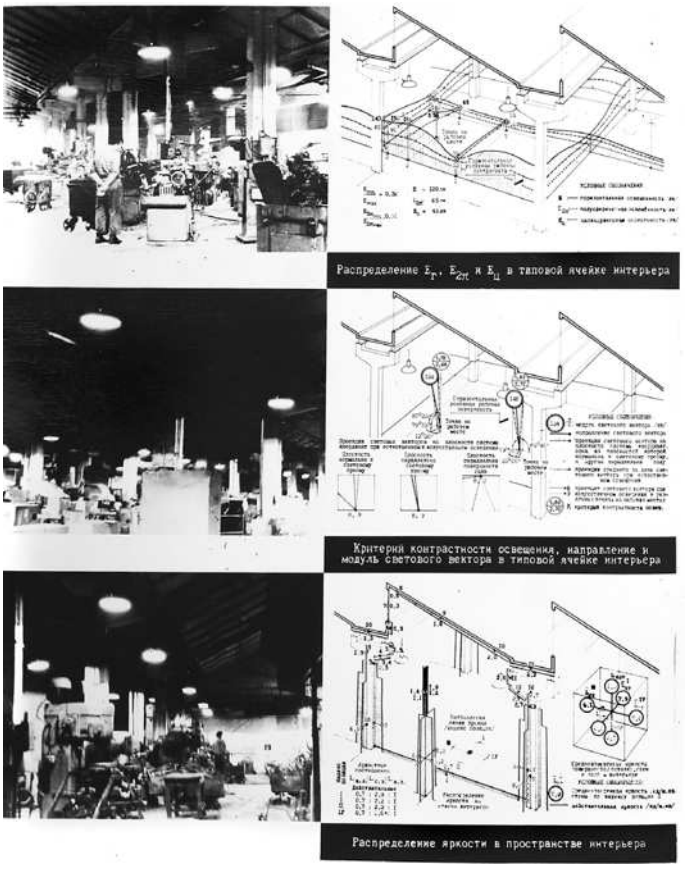


Рис. 7. Фотометрическая оценка качества искусственного освещения в интерьере с «шедами» (как пример)

во тестов для исследуемых интерьеров обусловлено спецификой светораспределения фонарей и конструктивными особенностями систем покрытия.

Яркостные композиции тестов, с целью их количественной оценки по относительной предпочтительности распределения L, ранжировались экспертами-наблюдателями по пяти рангам. Эксперты – это студенты старших курсов и преподаватели МАРХИ (410 человек, давших 11950 оценок), а также рабочие и служащие в цехах (125 человек в интерьерах с шедами, 109 – с прямоугольными и 96 – с зенитными фонарями, давшими 3830 оценок). Эксперты из числа персонала в цехах, сравнивая тесты непосредственно с натурой, отмечали те варианты, в которых, по их мнению, было визуальное подобие распределению яркости, наблюдаемому в интерьере. Тем самым распределение L количественно оценивалось рангом отмеченной наблюдателем яркостной композиции теста.

Параллельно методом анкетного опроса теми же наблюдателями оценивалась светонасыщенность интерьеров в натуре (одна из важных характеристик качества освещения, рекомендаций по которой для производственных интерьеров нет) по пятибалльной шкале: I (низкая), II (нормальная), III (повышенная), IV (высокая), V (очень высокая).

В результате натурных исследований световой среды интерьеров с верхним светом при естественном и искусственном освещении установлено, что реальные значения двух регламентирующих характеристик – e и $E_Г$ – практически всюду ниже нормы и совершенно недостаточно характеризуют её качество. Пространственные характеристики освещения – $e_{2π}$ и $e_ц$ при естественном свете, $E_{2π}$ и $E_Ц$ при искусственном – далеко не всегда коррелируют с субъективными оценками светонасыщенности (рис. 6 и 7, на примере «шедов»).

Дополнительным критерием для более полной фотометрической оценки световой среды, по данным натурных исследований, служит K в пространстве интерьера. При численных значениях отношений $E_Г/E_{2π}$ и $E_Г/E_Ц$, соответственно, больших 1,7 и 2,5, наблюдатели оценивали светонасыщенность как низкую даже при относительно высоких $E_{2π}$ (> 100 лк) и $E_Ц$ (> 70 лк).

Днём яркостная композиция в интерьерах с шедовыми фонарями, напоминающая относительное распределение яркости в поле зрения (небо: горизонт: земля) в пасмурную погоду летом под открытым небосводом в средней географической зоне РФ (5:3:1 по Н.М. Гусеву [3]), оценивалась экспертами относительно высоко. В интерьерах с П-образными и зенитными фонарями качество естественного освещения оценивалось как неудовлетворительное, а при искусственном свете – неудовлетворительное во всех случаях.

Сравнительный анализ качества визуальной среды в интерьерах с верхним естественным и искусственным светом показал значительные различия в уровнях освещения, направлении потоков света, контрастности освещения и тенеобразования, а также в распределении яркости при этих режимах освещения, что противоречит как утилитарным, так и эстетическим требованиям к производ-

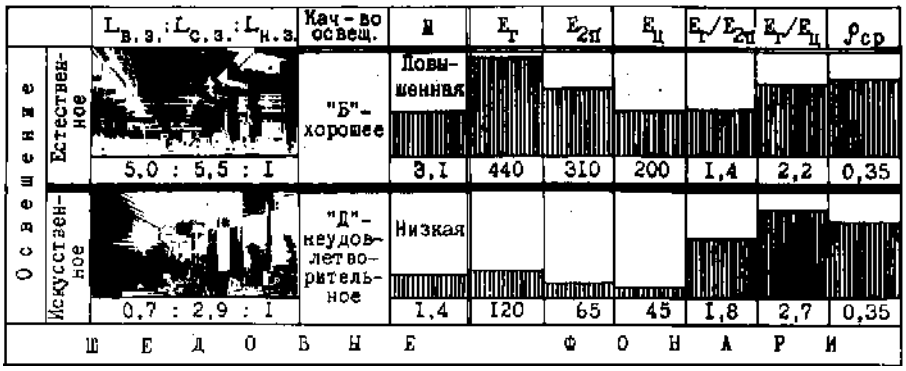


Рис. 8. Сопоставление фотометрической и субъективной оценок качества естественного освещения в интерьере с шедовыми фонарями (как пример)

ственной среде и свидетельствует о необходимости целостного подхода, взаимного согласования и гармонизации систем естественного и искусственного освещения. Разве это не убедительные, не актуальные задачи и причины для продолжения научных исследований в этой области, для улучшения норм, методик и практики проектирования всякого освещения?

Результаты статистической обработки ранжирования яркостных композиций на основе натурных исследований и тестов, отражённые на рис. 8 и 9, позволили построить графики корреляционной зависимости субъективных оценок от соотношений $L_{вз}/L_{нз}$, $L_{сз}/L_{нз}$, $L_{вз}/L_{сз}$. На их основе разработана упомянутая выше номограмма («бабочка») для оценки архитектурного освещения интерьера с верхним светом (рис. 1). Итоги оценки качества освещения интерьеров по распределению яркости методом тестового опроса сопоставлены с оценками, полученными с использованием этой номограммы, что показало их хорошую сходимость. Это свидетельствует о практической надёжности «бабочки» как инструмента оценки световой среды и на стадии проектирования, и при реализации проекта в натуре. Сегодня, при наличии цифровых яркомеров, можно без труда по снимкам определять необходимые параметры яркостной композиции при любой системе освещения.

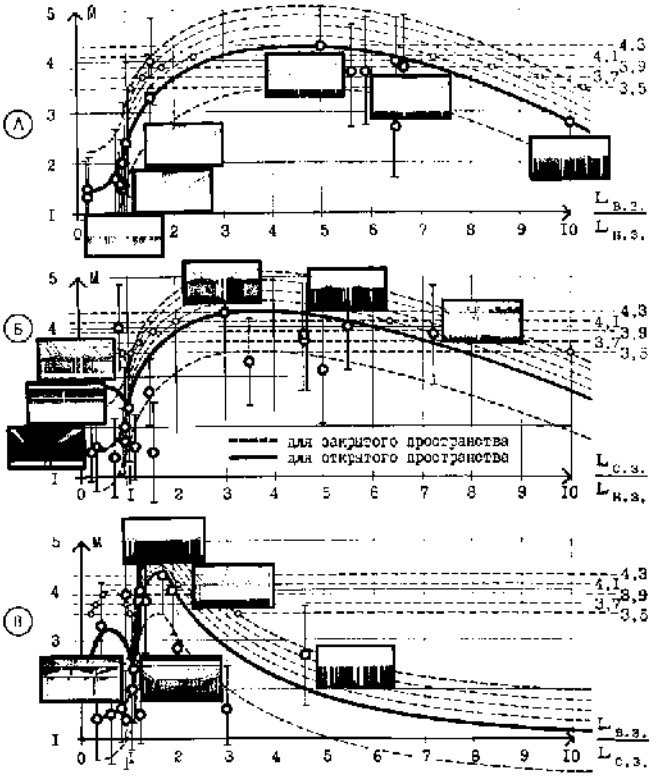


Рис. 9. Корреляционная зависимость субъективной оценки качества освещения от соотношения яркостей в интерьерах с разными типами фонарей и пространства – «закрытого» и «открытого»

Проведённый комплексный анализ результатов натурных исследований показал, что распределение яркости в интерьере и насыщенность его светом являются основными критериями оценки качества освещения, требующими их дальнейшего исследования. А в перспективе в этот анализ должны будут войти спектральный состав и кинетика света первоисточников, цветовые и отражательные характеристики вторичных источников, т.е. материальных поверхностей, физически формирующих пространство интерьера и так или иначе отражающих или пропускающих падающий на них свет оптических излучателей.

Об этом мечтал в своё время В.В. Воронов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронов В.В.* Экспериментальная установка архитектурного моделирования световой среды в интерьерах //Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1975. – № 3. – С. 58–63.

2. *Воронов В.В.* Метод проектирования архитектурного освещения производственного интерьера. Автореф. дисс. … к-та архитектуры. – М.: МАРХИ, 1985.

3. *Гусев Н.М.* Основы строительной физики. – М.: Стройиздат, 1975. – 440 с.

***Воронов Владимир Васильевич**, кандидат архитектуры, доцент. Окончил в 1965 г. МАРХИ. Профессор кафедры «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА) до 2016 г. Почётный работник высшей школы РФ*

***Щепетков Николай Иванович,** доктор архитектуры, профессор. Окончил в 1965 г. МАРХИ. Заведующий кафедрой «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА). Лауреат Государственной премии РФ (за архитектурное освещение Москвы). Заслуженный деятель искусств РФ. Член-корр. РАЕН. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»*

Световая и цветовая среда для престарелых[1]

Э. ГЕРРИ[1], Ж. ЦИССИС, С. КОМОН, Л. КАНАЛЬ, Э. БЕШАР

Тулузский университет, Тулуза, Франция

[1] E-mail: estelle.guerry@laplace.univ-tlse.fr

Аннотация

В связи со старением населения большое значение приобретает учёт потребностей престарелых, что позволит им лучше прожить остаток своей жизни. Цветовая и световая среда влияет на повседневную жизнь людей в бытовых условиях. В данной работе приведены современные рекомендации в части цвета и освещения, позволяющие спроектировать зрительную среду, приспособленную к потребностям этих пользователей. Эти рекомендации основаны на опыте, накопленном в области цвета и освещения. Подбор цветов, основанный на использовании естественной цветовой системы, совмещён с фотометрическими измерениями, позволяющими описать зрительную среду. Эти данные позволяют выработать рекомендации по формированию новых цветовых гамм для создания новых вариантов зрительной среды, а также оценить применимость существующих цветовых гамм.

Ключевые слова: проектирование цвета/освещения, эксперимент, оценка, зрительная среда.

1. Введение

Одной из особенностей демографических изменений, характерных не только для Франции, но и для большинства других развитых стран, является старение населения. Согласно прогнозам [1], к 2050 г. количество людей старше 60 лет удвоится, и к ним будет относиться 22 % населения. Согласно тем же прогнозам, примерно 2 млрд людей будут старше 60 лет. Что касается Франции, то по прогнозам Национального института статистики и экономических исследований [2] к 2060 г. к людям старше 60 лет будет относиться 33 % населения, причём резкое увеличение этой возрастной группы связано с послевоенным демографическим взрывом [3]. Подобное существенное увеличение будет наблюдаться до 2035 г. и продолжится впоследствии, хотя и значительно медленнее. Так что связанные со старением населения проблемы окажутся очень важными в будущем, и они требуют нашего внимания уже сейчас. По многим причинам старение может сопровождаться многочисленными и разнообразными заболеваниями, влияющими на качество жизни [4, 5]. Престарелые могут испытывать чувство незащищённости или безысходности в своей повседневной деятельности, которая может оказаться для них затруднительной. Когнитивные и зрительные патологии и их последствия существенным образом способствуют возникновению проблем.

Действительно, когнитивные патологии приводят к дезориентации в пространстве и во времени [6, 7]. Чувство незащищённости, дискомфорта и/или потеря самостоятельности с возрастом усиливаются, особенно если на проблемы, связанные с когнитивной патологией, накладываются проблемы, обусловленные заболеваниями зрительного аппарата. Заболевания зрительного аппарата, такие как глаукома, катаракта, макулярная дегенерация и другие, приводят к ухудшению качества поля зрения, аккомодации, остроты зрения и контрастной чувствительности. Так что в целом восприятие окружающей среды ухудшается [8–10]. Поэтому важное значение имеет приспосабливание окружающей престарелых среды к этим разнообразным патологиям и их возможному влиянию на привычки престарелых. Дезориентация, невозможность узнавания окружающего пространства или обнаружения препятствий могут увеличивать вероятность падения, усиливать нетрудоспособность и боязнь невозможности двигаться так, как раньше. Однако эти ситуации можно предотвратить или устранить, в первую очередь посредством изменения зрительной среды, безотносительно к тому, о какой среде обитания – существующей или планируемой – идёт речь [11]. В [12–14] была продемонстрирована важность освещения и цвета. Полученные в этих работах результаты показали, что зрительную работоспособность престарелых можно улучшить посредством качественного освещения, одновременно обеспечив их комфорт, как физический, так и психологический. Эти результаты также указывают на необходимость внесения изменений в используемые осветительные приборы, так как престарелые предъявляют к ним особые требования, обусловленные в первую очередь старением их зрительного аппарата. Выбранные специально для престарелых качественные и количественные характеристики освещения, уровень контраста и цветовые схемы позволят сформировать световую и цветовую среду, отвечающую их потребностям и желаниям.

2. Выбор цветовой гаммы

2.1. Теория

На выбор цветовой гаммы повлияли работы [15–19]. В [15] отмечается предрасположенность престарелых к светлым тонам, предпочтительность которых выстаивается в следующий ряд: зелёный, синий, красный, розовый и оранжевый. Эта же работа опровергает предвзятое мнение о предпочтительности монохроматических цветов, демонстрируя вместо этого необходимость совмещения цветов. В [16] говорится о том, что лучше всего избегать совмещения слишком сходных цветовых оттенков, так как их сложно отличить друг от друга при формировании предпочтительных вариантов, о которых было сказано в [15]. Кроме того, в [16] показано, что для обеспечения лучшей различимости объектов полезно совмещать светлые и тёмные цвета, которые контрастируют друг с другом. В [18] приведены коэффициенты яркости, наиболее подходящие для создания гармоничных и зрительно комфортных цветовых гамм (*chromatic ranges*), а в [19] приведены оптимальные уровни контраста, рассчитанные применительно к парам цветов и их коэффициентам яркости и позволяющие спроектировать среду, наилучшим образом приспособленную к нарушенному зрению престарелых. Так что эти результаты были получены с учётом как обусловленных вышеупомянутыми патологиями потребностей престарелых, так и их цветовых пред-

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

почтений, которые можно сформулировать следующим образом (табл. 1):

1. Светлые тона следует использовать применительно к большим поверхностям, таким как потолки, стены и полы. Тёмные тона предпочтительны для небольших поверхностей, таких как столярные изделия, с тем чтобы обеспечить оптимальный контраст между различными элементами пространства.

2. В основу формирования цветовых гамм должна быть положена трёхцветная система, с тем чтобы избежать как избытка зрительной информации, так и монотонности зрительного восприятия.

3. Следует стараться не умножать количество оттенков зелёного или синего, особенно светло-синего, цвета в рамках одной цветовой гаммы, что связано с искажающим восприятие цветов пожелтением хрусталиков глаз престарелых.

4. В то же время, исследования показали, что зелёный и, предпочтительно, светло-зелёный цвета пользуются большой популярностью. Это же относится и к светло-синим и красным цветам и к оттенкам розового и оранжевого цветов.

5. Однако жёлтый цвет не должен являться основной составляющей цветовой гаммы, так как это может привести к отсутствию контраста с более светлыми элементами пространства вследствие «пожелтения» зрительного восприятия.

6. Каждый из элементов цветовой гаммы должен иметь коэффициент яркости в интервале от 0,6 до 0,75 для светлых цветов, от 0,15 до 0,30 для тёмных цветов и 0,9 для цветов, используемых применительно к потолкам.

7. Для обеспечения оптимального зрительного различения, величина контраста, в данном случае контраста яркости между двумя соседними цветами должна составлять 70 %.

Таблица 1

Критерии 1, 6 и 7 для выбора цветовой гаммы

Коэффициент яркости	Архитектурный элемент
0,9	Потолок
От 0,15 до 0,30	Дверная коробка, плинтус
От 0,6 до 0,75	Стена, пол

2.2. Эксперимент

Мы воспользовались экспериментально-эмпирическим подходом [20] без предварительной привязки цветовой гаммы естественной цветовой системы (*NCS – Natural Color System*) к реальным цветам поверхностей в пределах среды обитания. Выбор цветовой гаммы осуществляется на основе сочетания знаний о цвете и научных оценок, что позволяет выявить наиболее подходящие комбинации цветов. На первом этапе эксперименты осуществлялись с использованием образцов цвета из собрания 1950-ти стандартных цветов *NCS* (*NCS index 1950 Original*) и крупноформатных образцов цвета, входящих в коробку *NCS* (*NCS box color samples*), что обеспечило возможность формирования зрительно удовлетворительных комбинаций цветов. *NCS* представляет собой систему классификации цветов, в основу которой положено зрительное восприятие людей. В настоящее время она используется в повседневной практике, обеспечивая междисциплинарное взаимопонимание благодаря своей интуитивно понятной и универсальной системе кодирования. Каждый из выбранных цветов измеряли с использованием портативного спектрофотометра с интегрирующей сферой *CM 2300d Konica Minolta* и иллюминанта *D65*, соответствующего естественному свету в полдень и имеющего коррелированную цветовую температуру (КЦТ) 6500 К. Результаты представлены в цветовом пространстве *L*a*b*, что позволяет определить коэффициенты яркости всех цветов. Эти данные позволяют при необходимости изменить набор цветов так, чтобы результирующие коэффициенты яркости соответствовали значениям, приведённым в табл. 1. Затем при помощи уравнения (1) [19] рассчитывались значения контрастов, после чего осуществлялся повторный выбор цветов, и так до тех пор, пока не были получены цветовые гаммы, у которых контрасты имели заданные значения.

$$\text{Контраст} = \frac{L1 - L2}{L1} \times 100\%, \qquad (1)$$

где *L1* и *L2* – коэффициенты яркости двух соседних цветов цветовой гаммы. При этом *L1* соответствует более светлому, а *L2* – более тёмному цвету. И именно это соотношение позволяет определить значение контраста. Формирование цветовых гамм осуществляется в четыре этапа с учётом семи приведённых выше критериев. Вначале определяются совокупности взаимосвязанных цветов (критерий 1). Затем осуществляется выбор цветов, которые обеспечили бы создание предпочтительной цветовой среды (критерии 2–5). Выбор этих цветов улучшается посредством подбора их насыщенности и светлоты с точки зрения обеспечения требуемого значения коэффициента яркости (критерий 6). И наконец, проводится расчёт контраста, позволяющий количественно завершить процесс принятия решения (критерий 7).

2.3. Предлагаемые цветовые гаммы

Представленные на рис. 1 цветовые гаммы были получены в результате рассмотрения многочисленных комбинаций цветов с целью удовлетворения требований к цвету и значениям коэффициента яркости и контраста. Два примера, которые были сформированы на основе семи приведённых выше критериев, демонстрируют возможность создания различных вариантов окружающей среды при помощи цветов с высокими коэффициентами яркости. Такие цвета обеспечивают более хорошее, чем цвета с низкими коэффициентами яркости, зрительное различение. В обеих показанных на рис. 1 цветовых гаммах для потолка используется один и тот же цвет, так как он подходит для различных цветовых сочетаний, которые могут реализоваться на практике. Кроме того, некоторые контрасты оказались выше или ниже чем 70 %, но это нормально, так как не превышающее 2 % отклонение можно считать приемлемым. Действительно, при таких контрастах глаз человека не способен воспринять столь незначительные отличия [21]. В табл. 2 приведены коэффициенты яркости и контрасты для всех цветов,

Таблица 2

Количественные показатели для цветовых гамм 1 и 2

	Код *NCS*	L * a * b	Коэффициент яркости	Контраст,%	
Цветовая гамма 1					
Потолок	S0500-N	94*0*2	0,94	75	
Дверная коробка	S7020-R10B	23*15*1	0,23		68
Стена	S2020-Y70R	72*13*14	0,72	71	
Плинтус	S8505-R20B	21*-2*-2	0,21		70
Пол	S3005-R80B	70*-1*-3	0,70		
Цветовая гамма 2					
Потолок	S0500-N	94*0*2	0,94	76	
Дверная коробка	S8505-R20B	22*5*-2*	0,22		70
Стена	S2010-G10Y	74*-13*10	0,74	68	
Плинтус	S8010-R90B	24*-2*-8	0,24		68
Пол	S2020-Y20R	74*6*25	0,74		

формирующих представленные цветовые гаммы. Эти цветовые гаммы служат примерами результатов, которые были получены при помощи описанного выше экспериментального метода. Эти цветовые гаммы рекомендуется использовать при проектировании зрительной среды, приспособленной к потребностям престарелых с патологиями зрительного аппарата и/или когнитивной системы. Использование разных цветов и полученных контрастов позволяет сформировать зрительные ориентиры, необходимые для узнавания пространства.

3. Оценка

Описанный метод выбора подходящей цветовой гаммы может использоваться не только для проектирования, но и для оценки. Он позволяет оценить приемлемость существующих цветовых гамм, сформированных на базе предшествующей модели. При проведении оценок сначала для каждого цвета идентифицируют его коэффициент яркости, после чего рассчитывают значения контрастов. Это позволяет проверить, удовлетворяют ли эти цвета сформулированным выше требованиям.

3.1. Материалы и методы

Полевые исследования были проведены в гериатрической больнице кратковременного пребывания *Robertsau*, г. Страсбург, Франция (рис. 2). Целью исследований была идентификация характеристик окружающей среды (цвета и освещения), полезных для осуществления медицинского обслуживания престарелых пациентов с когнитивными расстройствами. Исследования проводились в два этапа: исследования цветовой среды и исследования характеристик освещения.

Исследования цветовой среды, осуществлявшиеся с использованием образцов цвета *NCS*, позволили идентифицировать цвета, формирующие цветовую палитру пространства. Для всех цветов с использованием цветового пространства *L*a*b* были рассчитаны коэффициенты яркости. Кроме того для идентифицированных цветовых гамм были рассчитаны контрасты. Рассмотренные ранее цветовые гаммы исследовались применительно к показанным на рис. 3 вертикальным смещениям линии наблюдения от потолка до пола в направлениях *A*, *B*, *C* и *D*. В рамках данного исследования были рассмотрены и горизонтальные направления 1, 2, 3 и 4, которые также показаны на рис. 3. Это позволило оценить комбинации цветов не только изолированно, но и применительно к 360° восприятию окружающего пространства.

Исследование освещения проводилось в показанных на рис. 2 точках *A*, *B* и *C*. Усреднённые результаты измерений, проведённых в этих точках, приведены в табл. 4. При этом измерения производились трижды в разное время суток: утром (в 10:00), в послеполуденное время (14:00) и в предвечернее время (17:30).

Для измерения освещённости и КЦТ использовался люксметр-колориметр *Konica Minolta CL-70F*. Эти исследования были проведены 19 и 20 марта 2018 г. в условиях сплошной облачности. Во время проведения измерений искусственное освещение было включено, но его технические характеристики у авторов отсутствовали. В отличие от исследования освещения, исследования цветовой среды проводились единовременно, так как они включали в себя сбор количественных и не связанных с восприятием данных, привязанных к системе координат. Цвет интересует нас в качестве выражаемой количественно характеристики поверхности, а не как зависящая от восприятия и времени суток характеристика.

3.2. Результаты

Различные цветовые гаммы и комбинации цветов, которые приведены на рис. 4, были получены в результате проведённых в рамках полевых исследований измерений, соответствующих показанным на рис. 3 направлениям *A*, *B*, *C* и *D* и 1, 2, 3 и 4. Эти сочетания цветов формируют общий цветовой облик пространства.

Эти цвета формируют динамический облик пространства. Действительно, использование дополнительных цветов, например, жёлтого и двух синих, стимулирует работу глаз. Одна-

ко наличие нейтральных оттенков, таких как бежевый, способствует уменьшению утомляемости глаз. Эти сочетания формируют пространство, в котором сбалансированы возбуждающее и расслабляющее воздействие на зрительный аппарат. Чередование дополнительных цветов позволяет сформировать ритм и создать тёплую атмосферу за счёт использования преимущественно тёплых цветов, поддерживаемых меньшим количеством холодных цветов. Распределение цвета позволяет организовать пространство. Каждый из используемых цветов помогает сформировать зрительные ориентиры.

Жёлтому цвету (цветовая гамма *A*, рис. 4) соответствует обеденное пространство, тёмно-синему цвету (цветовая гамма *C*, рис. 4) соответствует пространству для просмотра телепередач и отдыха, тогда как светло-синий цвет (цветовая гамма *D*, рис. 4) соответствует пространство, из которого открывается вид наружу.

Это разделение позволяет отождествить части пространства с осуществляемой в них деятельностью и тем самым облегчает пациентам процесс выбора своего местоположения в соответствии со своими потребностями. В табл. 3 приведены количественные результаты, такие как средние значения коэффициента яркости, которые оказались равными 0,68 для больших участков (стена, пол), 0,77 для маленьких участков (дверная коробка, плинтус) и 0,94 для потолка, или средние контрасты, которые оказались равными 14 % в вертикальном направлении и 32 % в горизонтальном направлении.

Отличие цветовых гамм друг от друга позволяет сформировать гармоничную и динамичную цветовую среду, способствующую, как было отмечено в ходе этих полевых исследований, стимулированию зрительного аппарата и созданию в пространстве опорных точек для пациентов.

В табл. 4 приведены результаты исследования освещения, согласно которым средняя освещённость оказалась равной 580 лк, что примерно в три раза выше уровня 200 лк, нормированного в европейском стандарте *EN12464–1* [22].

Этот стандарт рассчитан на среднего наблюдателя и не содержит особых требований для престарелых. И можно предположить, что приведённые в этом стандарте минимальные требования не подходят для престарелых, тогда как измеренные в ходе данных полевых исследований реальные значения освещённости (см. табл. 3) удовлетворяли требованиям пациентов к обеспечению зрительного комфорта. Однако нормированные значения освещённости нельзя установить исходя из этих результатов, и трудно решить, можно ли измеренные значения освещённости считать оптимальными при проектировании зрительной среды для престарелых.

Приведённые в табл. 4 значения освещённости были измерены в условиях, когда освещение СД источниками света дополняет естественное освещение, обеспечиваемое большими остеклёнными участками. Относительный вклад естественного и искусственного освещения легко прослеживается на протяжении дня, так как он отражается на спектральном распределении поступающего в помещение света, которое представляет собой сочетание относительно равномерного распределения, характерного для естественного света, и характерного для излучения СД пика в синей области спектра (рис. 5). Этот пик наиболее заметен утром, а это говорит о том, что утром естественное освещение заметно слабее, чем в остальное время дня. Искусственное освещение компенсирует недостаточность естественного освещения и позволяет поддерживать требуемые уровни освещённости на протяжении всего дня. Кроме того, как следует из приведённого на рис. 6 графика Круитхофа [23], измеренные сочетания КЦТ и освещённости лежат

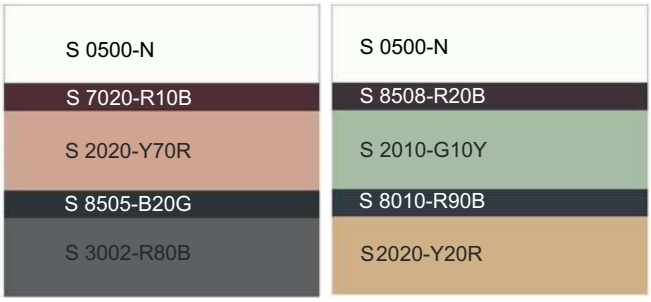


Рис. 1. Цвета, входящие в цветовые гаммы 1 (слева) и 2 (справа)

Рис. 2. Панорамный вид реального приёмного покоя

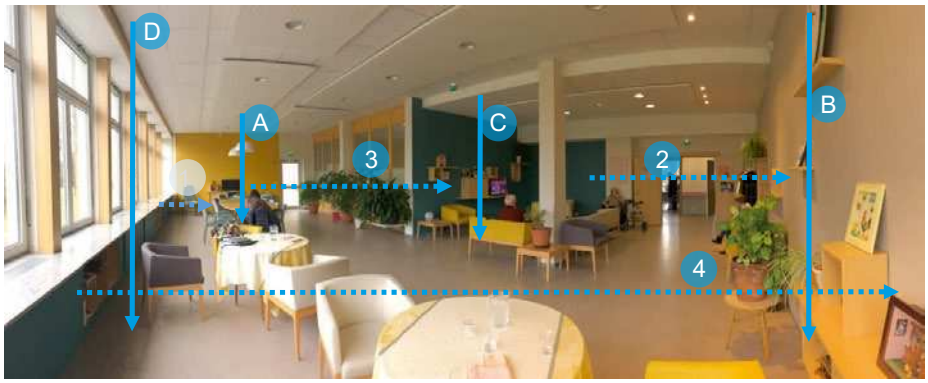


Рис. 3. Направления смещения линии наблюдения, соответствующие приведённым на рис. 4 цветовым гаммам и комбинациям

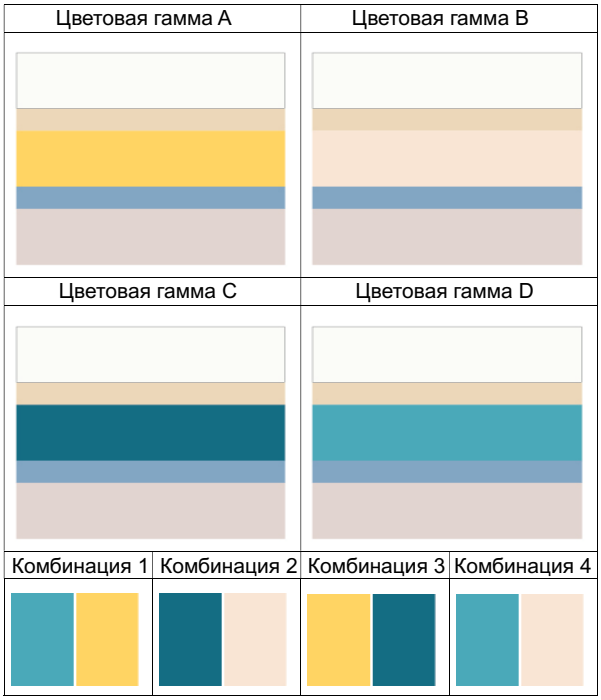


Рис. 4. Цвета, соответствующие реальным цветовым гаммам *A*, *B*, *C* и *D* и комбинациям 1, 2, 3 и 4

в пределах рекомендованной комфортной области. Две КЦТ из трёх располагаются около порога, что позволяет считать соответствующий цвет слишком холодным для среднего наблюдателя. Однако данные, полученные нами в процессе полевых испытаний, говорят о том, что люди предпочитают относительно холодный свет, так что отмеченные на графике значения освещённости не удовлетворяют требованиям, предъявляемым престарелыми пациентами к зрительному комфорту.

4. Результаты

На первом этап исследований было показано, что на основе имеющихся литературных данных можно подобрать подходящие престарелым цветовые гаммы. Теоретически, они удовлетворяют потребностям престарелых и предъявляемым ими требованиям и обеспечивают им зрительный комфорт, если реализовать указанные в литературе уровни контраста и значения коэффициента яркости. Затем с использованием тех же методов, которые использовались на этапе выбора цветовой гаммы (определение коэффициентов яркости и расчёт контрастов), были произведены полевые измерения реальных цветовых гамм. Однако были замечены различия между реализованными цветовыми гаммами и цветовыми гаммами, полученными теоретически на основе литературных данных. Действительно, наблюдавшиеся в реальности коэффициенты яркости и контрасты не совпадали с полученными на этапе выбора цветовой гаммы. Совпали только средние значения коэффициентов яркости светлых цветов и потолка. В то же время, средний коэффициент яркости тёмных цветов оказался в три раза выше полученного на этапе выбора, а контрасты оказались в среднем в три раза меньше. Тем не менее, эти цветовые гаммы можно считать удовлетворительными, так как они позволяют сформировать зрительные ориентиры. Затем были проведены измерения характеристик освещения, продемонстрировавшие расхождения между значениями характеристик, обеспечивающими зрительный комфорт пациентов, и значениями, содержащимися в действующих стандартах и рекомендациях. Было установлено, что для престарелых больше всего подходят высокие освещённости и низкие КЦТ. Фактически оказалось, что средняя освещённость в три раза превышала требования действующего европейского стандарта и что согласно графику Круитхофа два из трёх измеренных значений КЦТ сместились относительно оптимальной области комфорта и приблизились к области, которая считается слишком холодной.

5. Обсуждение и перспективы

Описанный метод позволяет выбрать цветовые гаммы, отвечающие потребностям престарелых с патологиями зрительного аппарата и/или когнитивной системы, особенно если они приводят к нарушению пространственной ориентации.

Даже несмотря на то, что значения, которые были получены на этапе выбора, были поставлены под сомнение на этапе полевых исследований, они могут служить руководством при проектировании. Однако во избежание обобщений следует определить значимость полученных коэффициентов яркости с точки зрения формирования общей атмосферы и конкретной области применения. Более того, даже если кажется, что эти комбинации цветов удовлетворяют потребностям престарелых пользователей, то всё же не следует забывать, что выбор и предпочтительность цветов являются в значительной степени субъективными и зависят от конкретного человека. Субъективизм при этом проявляется в виде индивидуальных предпочтений или неприятия конкретных цветов, обусловленных культурным, социальным и историческим опытом отдельных людей, своим для каждого человека. Так что дизайнеры выбирают цветовые гаммы не только на основе разработанных рекомендаций, но и исходя из собственных предпочтений, которые характерны только для них. Поэтому описанный в данной работе подход подчёркивает взаимодополняемость субъективного подхода и подхода, основанного на проведении измерений.

Использование литературных данных может оказаться приемлемым в случае общественных пространств, для которых существенными являются предпочтения большинства пользователей, но не для быта, когда предпочтительными являются соображения, основанные на личном опыте пользователей. Более того, даже если цветовая гамма соответствует требованиям основных пользователей (престарелых), не следует забывать и о том, что второстепенные пользователи, такие как медицинский персонал, или, конкретнее, сиделки, также сталкиваются с этими цветовыми гаммами, которые могут не соответствовать их предпочтениям и требованиям. Это ставит вопрос о применимости подобного процесса выбора цветовой гаммы. Действительно, если престарелые не являются единственными пользователями пространства, то следует ли

Таблица 3

Количественные показатели для цветовых гамм *A*, *B*, *C* и *D* и комбинаций 1, 2, 3 и 4

	Код *NCS*	L * a * b	Коэффициент яркости	Контраст, %	
Вертикальное направление					
Элементы, общие для всех цветовых гамм					
Потолок	S0500-N	94*0*2	0,94	7	
Дверная коробка	S1010-Y30R	87*4*17	0,87		
Плинтус	S2030-R90B	66*-8*-20	0,66	15	
Пол	S2505-R	78*4*2	0,78		
Цветовая гамма *A*					
Дверная коробка	S1010-Y30R	87*4*17	0,87		10
Стена	S1080-Y10R	78*16*91	0,78	15	
Плинтус	S2030-R90B	66*-8*-20	0,66		
Цветовая гамма *B*					
Дверная коробка	S1010-Y30R	87*4*17	0,87		11
Стена	S2005-Y80R	77*4*4	0,77	14	
Плинтус	S2030-R90B	66*-8*-20	0,66		
Цветовая гамма *C*					
Дверная коробка	S1010-Y30R	87*4*17	0,87		52
Стена	S4040-B10G	42*-21*-21	0,42	36	
Плинтус	S2030-R90B	66*-8*-20	0,66		
Цветовая гамма *D*					
Дверная коробка	S1010-Y30R	87*4*17	0,87		26
Стена	S2040-B20G	64*-8*-20	0,64	3	
Плинтус	S2030-R90B	66*-8*-20	0,66		
Горизонтальное направление					
Комбинация 1					
S2040-B20G		64*-26*-17	0,64	18	
S1080-Y10R		78*16*91	0,78		
Комбинация 2					
S4040-B10G		42*-21*-21	0,42	45	
S2005-Y80R		77*4*4	0,77		
Комбинация 3					
S1080-Y10R		78*16*91	0,78	46	
S4040-B10G		42*-21*-21	0,42		
Комбинация 4					
S2040-B20G		64*-26*-17	0,64	17	
S2005-Y80R		77*4*4	0,77		

проектировать световую и цветовую среду, исходя исключительно из критериев, связанных со старением людей? Кроме того, интересно было бы выбирать цвет в соответствии с его коэффициентом яркости не только применительно к одному-единственному моменту, а в целом, применительно ко всему дню, что приведёт к непрерывным изменениям, связанным главным образом с освещением или с восприятием глаз отдельных пользователей. Изменение размеров и цвета и отсутствие статичности в целом будут играть важную роль в общем восприятии цветовой гаммы, когда комбинации цветов будут сформированы в систему, влияющую на окружающее

Таблица 4

Реальные характеристики освещения, измеренные в ходе полевых исследований

Время	Внутреннее освещение		Наружное освещение	
	Освещённость, лк	КЦТ, К	Освещённость, лк	КЦТ, К
10:00	520	5800	3210	8000
14:00	950	5100	3910	5900
17:30	280	5000	1530	6200

пространство, а не окажутся изолированными и локализованными.

Аналогичным образом, одно лишь вертикальное смещение направления восприятия цветовой гаммы извлекает её из окружающего пространства, что приводит к тому, что пространство престаёт восприниматься в целом, как это имеет место при одновременной рассмотрении ещё и горизонтального смещения направления восприятия цветовой гаммы. Если к этому добавить учёт уровня освещения этих ярких и многоцветных пространств, то придётся принимать во внимание ещё и качественные и количественные характеристики освещения.

Что касается цветовых предпочтений, то важно учитывать предпочтения в части освещения и света, для которых в рассматриваемом случае характерны низкая КЦТ и высокая освещённость.

Подобный системный подход к формированию окружающей среды одновременно учитывает и цветовые, и световые моменты, принимая при этом во внимание не только их взаимное влияние, но и реакцию пользователей, как основных, так и второстепенных. Этот подход позволяет оценить потенциальные возможности как основанного на литературных данных подхода, так и метода, включающего в себя качественные и количественные оценки и потребности пользователей. Судя по полученным результатам, этот подход привёл к необходимости пересмотра существующих норм и рекомендаций в пользу новых, лучше обеспечивающих зрительный комфорт престарелых. Можно поставить вопрос о важности выработки рекомендаций, относящихся именно к престарелым.

Окружающая среда уже не является вотчиной только дизайнеров – она имеет непосредственное отношение и к пользователям.

6. Заключение

Подходящую световую и цветовую среду можно спроектировать на основе существующих литературных данных, однако к ним следует относиться критически, с тем чтобы сформировать новую базу данных, в которой были бы учтены требования и физические предпочтения потребителей. Формируемая в результате среда обеспечивает наличие пространственно-временных ориентиров для престарелых, особенно с патологиями зрительного аппарата и/или когнитивной системы, которые приводят к дезориентации в пространстве, ухудшению качества поля зрения и остроты зрения, а в более широком смысле – к ухудшению восприятия окружающей среды.

Кроме того, среда становится более безопасной, если обеспечить лучшее различение окружающего пространства, комфортные условия и автономию, что может быть достигнуто посредством изменения условий жизни престарелых в соответствии с их привычками и повседневной деятельностью. Однако для создания подобной среды недостаточно просто удовлетворять требования, лежащие в основе её проектирования – необходимо учитывать и цветовые характеристики, с тем чтобы сформировать в результате гармоническую световую и цветовую среду, отвечающую потребностям пользователей, в рассматриваемом случае – потребностям престарелых. Более того, необходимо учитывать и восприятие медицинского персонала, с тем чтобы сформировать среду, комфортную для всех пользователей.

В данной работе была продемонстрирована важность учёта потребностей пользователей при формировании зрительной среды. В случае престарелых заметны благоприятные последствия правильного выбора цветовой среды. Полученные результаты позволили сформулировать предложения в части новых норм, которые обеспечивали бы зрительный комфорт для престарелых. Кроме того, они говорят о необходимости разработки нового европейского стандарта, аналогичного уже существующим. Разработка частного стандарта, который дополнил бы существующие, позволит существенно улучшить эффективность современных осветительных установок за счёт обеспечения повышенного комфорта.

Так что проведённое рассмотрение цветовых и световых характеристик пространства привело к формированию систематического междисциплинарного подхода к обеспечению комфортных условий существования людей, в частности, престарелых.

Проведение исследований оказалось возможным благодаря образцам цвета *NCS*, предоставленным институтом *Institut Supérieur Couleur Image Design*, Тулузский университет, Монтобан, Франция, и спектрофотометру *CM 2300d*, предоставленному компанией *Malet Enterprise*, Тулуза, Франция. Проведение этих исследований стало возможным также благодаря

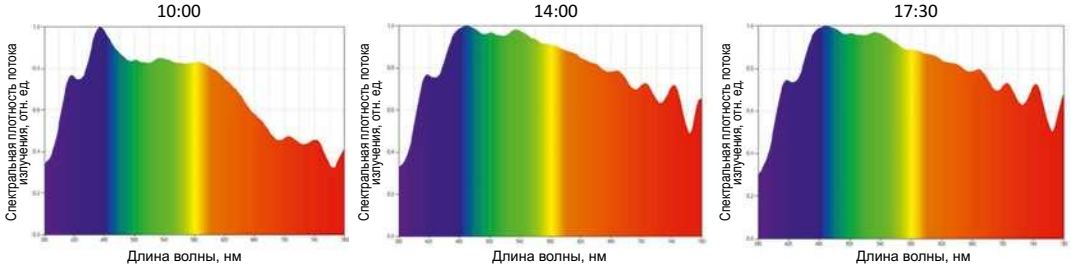


Рис. 5. Реальные спектры излучения

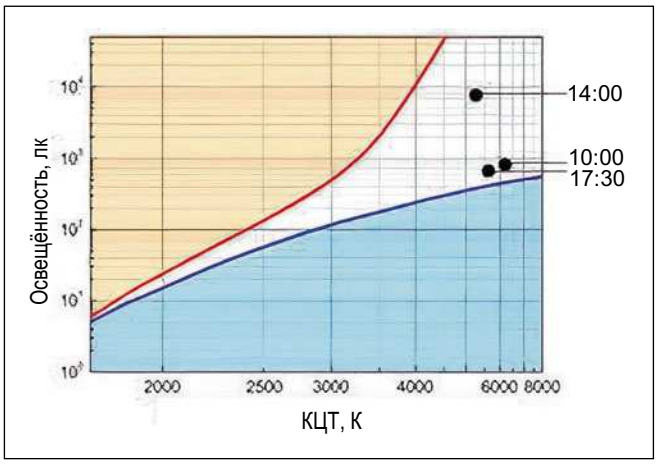


Рис. 6. График Круитхофа и результаты измерений освещённости

доброжелательному отношению со стороны работников приёмного покоя и медицинского персонала гериатрической больницы кратковременного пребывания *Robertsau*, г. Страсбург, Франция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization – Facts about ageing [Online]. WHO. [viewed 2019 Jan 5]. Available from: http://www.who.int/ageing/about/facts/fr/

2. National institute of statistics and economic studies – Population projections for 2060: one-third of the population aged over 60 – Insee Première – 1320 [Online]. INSEE.

3. *Knickman, J.R., Snell, E.K.* The 2030 Problem: Caring for Aging Baby Boomers // Health Services Research. – 2002. – Vol. 37, No. 4. – P. 849–884.

4. *Keister K.J., Blixen, C.E.* Quality of life and Aging // Journal of Gerontological Nursing. – 1998. – Vol. 24, No. 5. – P. 22–28.

5. *Guse, L.W., Masesar, M.A.* Quality of life and successful aging in long-term care: perceptions of residents // Issues in Mental Health Nursing. – 1999. – Vol. 20, No. 6. – P. 527–539.

6. *Lipowski, Z.J.* Transient cognitive disorders (delirium, acute confusional states) in the elderly // The American journal of psychiatry. – 1983. – Vol. 140, No. 11. – P. 1426–1436.

7. *Monacelli, A.M., Cushman, L.A., Kavcic, V., Duffy, C.J.* Spatial disorientation in Alzheimer's disease // Neurology. – 2003. – Vol. 61, No. 11. – P. 1491–1497.

8. *Lord, S.R., Clark, R.D., Webster, I.W.* Visual Acuity and Contrast Sensitivity in Relation to Falls in an Elderly Population // Age Ageing. – 1991. – Vol. 20, No. 3. – P. 175–181.

9. *McKee, A.C., Au, R., Cabral, H.J., Kowall, N.W., Seshadri, S., Kubilus, C.A., et al.* Visual Association Pathology in Preclinical Alzheimer Disease // J Neuropathol Exp Neurol – 2006. – Vol. 65, No. 6. – P. 621–630.

10. *Loh, K.Y., Ogle, J.* Age related visual impairment in the elderly // Med J Malaysia. – 2004. – Vol. 59, No. 4. – P. 562–568.

11. *Rowles, G.D., Oswald, F., Hunter, E.G.* Interior Living Environments in Old Age // Annual Review of Gerontology and Geriatrics. – 2003. – Vol. 23, No. 1. – P. 167–194.

12. *Kutas, G., Kwak, Y., Bodrogi, P., Park, D.S., Lee, S.D., Choh, H.K., Kim, C.Y.* Luminance contrast and chromaticity contrast preference on the colour display for young and elderly users // Displays. – 2008. – Vol. 29, No. 3. – P. 297–207.

13. *O'Connor, D.A., Fies, R.G.D.* Lighting for the Elderly: The Effects of Light Source Spectrum and Illuminance on Color Discrimination and Preference // Leukos. – 2005. – Vol. 2, No. 2. – P. 123–132.

14. *Yamagishi, M., Yamaba K., Kubo, K., Nokura, K., Nagata, M.* Effects of LED Lighting Characteristics on Visual Performance of Elderly People // Gerontechnology. – 2008. – Vol. 7, No. 2. – P. 243–246.

15. *Tate, F.B., Allen, H.* Color preferences and the aged individual: Implications for art therapy – The Arts in Psychotherapy. – 1985. – Vol. 12, No. 3. – P. 165–169.

16. *Calkins, M.P.* Using color as a therapeutic tool [Online]. Ideas institute.

[viewed 2018 Feb 9]. Available from: http://www.ideasinstitute.org/article_021103_b.asp

17. *Adler, L.* Responding to color. Extension Home Furnishings Specialist, Kentucky Cooperative Extension Service, 1999.

18. *Déribéré, M.* La couleur dans les activités humaines. Dunod, 1968.

19. Argos Service, «Accessibilité et déficiences visuelles. Réponses adaptées aux besoins de la chaîne de déplacement». France, 2010.

20. *Pfeiffer, H.* L'Harmonie des couleurs: Cours théorique et pratique. 3ème. Dunod, 1965.

21. *Le Grand, Y.* Optique physiologique. Tome II, Lumière et couleurs. Paris (France), Masson et Cie, 1972.

22. European Committee for Standardization. EN12464–1:2002 Light and lighting – Lighting of workplaces – Part 1: Indoor work places. Lighting requirements for interiors (areas), tasks and activities [Online]. Ageta. [viewed 2018 March 12]. Available from: http://www.ageta.lt/app/webroot/files/uploads/filemanager/File/info/EN_12464–1.pdf

23. *Kakitsuba, N.* Comfortable Indoor Lighting Conditions Evaluated from Psychological and Physiological Responses // LEUKOS. – 2016. – Vol. 12, No. 3. – P. 163–172.

***Эстель Герри (Estelle Guerry)**, M. Sc. Аспирантка (PhD) Тулузского университета. Область научных интересов: исследования в области цвета и освещения в целях обеспечения комфорта для престарелых и их благополучия*

***Жорж Циссис (Georges Zissis)**, Ph.D. Окончил Критский университет (1964 г.). Профессор Тулузского университета Тулуза-3. Почётный профессор Санкт-Петербургского государственного университета. Руководитель группы «Свет и вещество», лауреат нескольких национальных и международных премий. Область научных интересов: физика газового разряда, метрологическое обеспечение СД освещения, стандартизация и проблемы качества источников света, качество жизни, здоровье и безопасность, освещение*

***Селин Комон (Céline Caumon)**, Ph.D., профессор. Член нескольких национальных и международных правлений и комиссий. Автор ряда книг в области цвета. Область научных интересов: проектирование цветовой среды*

***Лоран Каналь (Laurent Canale)**, Ph.D. Инженер-исследователь группы «Свет и вещество» Тулузского университета Тулуза-3. Президент Французского светотехнического общества*

***Элоди Бешар (Elodie Bécheras)**, Доцент Тулузского университета и независимый сценограф. Область научных интересов: творческое использование света применительно к цвету, городам, ландшафтам и сценографии*

Экспериментальное исследование нового критерия качества освещения на основе анализа распределения яркости на станциях Московского метрополитена

[1]В.П. БУДАК, В.С. ЖЕЛТОВ, [2]Т.В. МЕШКОВА., В.Д. ЧЕМБАЕВ

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: [1]budakvp@gmail.com, [2]tvmesh@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен эксперимент по исследованию нового критерия качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости, предложенного на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ». В эксперименте исследована корреляция экспертных оценок качества освещения вестибюлей 21 станции Московского метрополитена с анализом на основе критерия качества яркостных фотографий станций, полученных съёмкой фотоаппаратом в *RAW*-формате и нормированных на яркость, измеренную яркомером. Полученные изображения были обработаны с помощью предложенного критерия. Рассмотрены построение моделей станций и расчёты, выполненные в программе «*DIALux*» и в созданной (в рамках работы) программе на основе локальных оценок. Показано, что предложенный критерий позволяет учитывать протяжённые блики и может рассматриваться как расширение объединённого показателя дискомфорта *UGR*.

Ключевые слова: критерий качества освещения, распределение яркости, локальные оценки, метрополитен, блёскость.

Введение

Свет в метро – одно из главных художественных средств создания архитектуры метростанций. Он создаёт иллюзию воздушного, лёгкого и светоносного пространства под землёй. Но в тоже время, освещение является важнейшим фактором безопасности пассажиров.

Московское метро всегда рассматривалось архитекторами как система подземных дворцов для народа, выполнявшего заказ по созданию самого демократичного вида транспорта. Причём в мире нет других метрополитенов, где бы в таком количестве использовались ценные породы камня, а в интерьерах станций использовались бы элементы скульптуры, живописные и мозаичные панно, рельефы.

В любом метрополитене мира особенно важен фактор света, но в Московском, помимо обеспечения безопасности пассажиров, важно подчеркнуть и уникальность каждой станции освещением. Именно здесь архитектурная и функциональная составляющие освещения неразделимы и качество освещения играет особую роль.

В настоящей работе на основе эксперимента сформулирован новый критерий качества освещения (ККО), одна из ключевых задач которого – учёт факторов, плохо учитываемых в методе *UGR*, а именно протяжённых бликов. И новые станции Московского метрополитена как раз подходили для подобного эксперимента. Преобладание бликующих материалов в отделке (мрамор, гранит, металл, стекло) и наличие большого числа разных источников света (ИС) приводят к образованию на станциях множества протяжённых бликов, что как нельзя лучше подходит для оценки нового ККО.

Критерий качества освещения

Новый ККО на основе анализа пространственно-углового распределения яркости был предложен в работе [1]. При последующих оценках на экспериментальной установке на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ» и в рамках настоящей работы в него вносились коррективы. Итак, согласно этому ККО, качество освещения может оцениваться из заданной точки в пространстве сцены в заданном направлении одним числом:

$$Q = \frac{1}{K_{\text{пор}}} \int K(x,y) h(x,y) dxdy, \quad (1)$$

где $K_{\text{пор}}$ – пороговое значение контраста, h – весовая функция, позволяющая учитывать светотехническую задачу, $K(x, y)$ – обобщённый контраст в точке сцены, определяемый как

$$K(x,y) = \frac{\left|\text{grad}\left(L(x,y)p(x,y)\right)\right|}{\bar{L}}, \quad (2)$$

а средняя яркость определяется как

$$\bar{L} = \frac{1}{A} \int_{(A)} L(x,y)p(x,y)dxdy,$$

$$A = \int_{(A)} dxdy.$$

Переменные x и y определяются в плоскости анализа кадра изображения, видимого из исследуемой точки в заданном направлении, $p(x, y)$ – функция, связанная с неравномерностью плотности распределения колбочек и палочек по сетчатке глаза. Аналогично может учитываться любая иная функция, влияющая на результат.

В сформулированном ККО любое изменение яркости будет давать вклад в результат. При этом очевидно, что перепады яркости ниже некоторой пороговой яркости не вносят дискомфорта в восприятие. Ограничим их влияние порогом $L_{\text{пор}}$:

$$K(x,y) = \begin{cases} L(x,y) \le L_{\text{пор}} \to & 0 \\ L(x,y) > L_{\text{пор}} \to & K(x,y) \end{cases}. \quad (3)$$

Эксперимент в Московском метрополитене

В качестве исследуемых была выбрана 21 станция: «Рассказовка», «Боровское шоссе», «Солнцево», «Говорово», «Ломоносовский проспект», «Минская», «Пятницкое шоссе», «Волоколамска»я, «Мякинино», «Славянский бульвар», «Шелепиха», «Хорошевская», «ЦСКА», «Петровский парк», «Сретенский бульвар», «Трубная», «Достоевская», «Марьина роща», «Бутырская», «Фонвизинская», «Окружная». Основным критерием выбора было наличие на них большого количества бликующих материалов в отделке, и выбираемые станции до проведения эксперимента (заведомо) разделялись на «хорошие» и «плохие».

Одна из реальных зрительных задач, решаемых в метрополитене, – чтение вывесок с указателями. Имен-

но она и легла в основу эксперимента. При этом в светотехнической практике часто проводится экспертное сравнение друг с другом разных ОУ, обычно дающих одинаковое функциональное освещение. Например, освещение одной станции может сравниваться с освещением другой на основе оценок по шкале «лучше-хуже» или иной. Соответственно, наш эксперимент проводился по следующей схеме:

• Наблюдатель высаживается на станции, в течение 1 мин происходит зрительная адаптация на новый уровень яркости на ней, по сравнению с уровнем яркости в вагоне. В течение 1 мин наблюдателю даётся возможность осмотреть всю станцию целиком, идентифицировать вывеску с указателями выхода и оценить качество освещения станции при наблюдении вывески по шкале от 0 до 10, где 0 – соответствует «качественному» освещению, а 10 – «некачественному». Ощущение качественного освещения интерпретируется как зрительный комфорт при чтении вывески и пребывании на станции. При этом норма находится «посредине шкалы», а оценка наблюдателя должна выставляться с одного ракурса в сцене, а именно, по нормативным документам, у торцевой стены на центральной оси помещения на уровне глаз при направлении наблюдения под углом 0° к горизонту – для дальнейшего сравнения с нормируемым значением показателя *UGR* для смоделированной ОУ в программе «*DIALux*».

• Делается широкодиапазонная фотография цифровым фотоаппаратом *Nikon D3100* в *RAW*-формате с нескольких ракурсов и одновременно с тех же ракурсов измеряется яркость яркомером *Konika Minolta LS-100* для возможности нормировки фотографии (рис. 1). На станциях, освещение которых выполнено с помощью открытых ИС, измеряется яркость в точке максимальной яркости в сцене, яркость самого ИС, а на станциях с закарнизным освещением измеряется яркость самого яркого блика в сцене.

• Средняя яркость на станции определяется в ходе обработки фотографий при нормировке с помощью программного комплекса «*Matlab*».

В эксперименте приняли участие три человека, и в результате получены усреднённые данные по станциям, представленные в табл. 1.

Рис. 1. Процесс проведения эксперимента

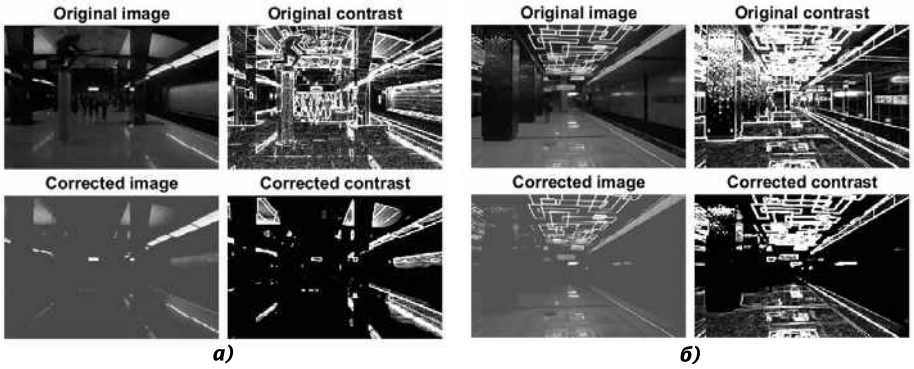


Рис. 2. Обработка фотографий станций «ЦСКА» (*а*) и «Говорово» (*б*). (*Original image* – оригинальное изображение. *Original contrast* – оригинальный контраст. *Corrected image* – скорректированное изображение. *Corrected contrast* – скорректированный контраст)

При обработке результатов по предложенному ККО в качестве пороговой яркости на первом этапе бралась средняя яркость на станции. Отметим, что, аналогично низкие значения яркости отсекались и в работе [2], где тоже сделана попытка анализа качества освещения на основе пространственно-углового распределения яркости. На рис. 2 представлены оригинальные фотографии двух станций метро и полученный на их основе контраст, а также «фотографии» и контрасты после коррекции по формуле (3).

При обработке данных удобно использовать карты рассеяния двух переменных, позволяющие зрительно оценивать наличие корреляции. На рис. 3 представлена карта рассеяния ККО и ответов наблюдателей. Не трудно видеть, что в целом точки расположены вдоль диагонали с достаточно большим разбросом. Проверка наличия связи между двумя рассматриваемыми переменными осуществляется с помощью линейного коэффициента корреляции (КК), определяемого как

$$c(x,y)=\frac{\dfrac{\sum_{i=0}^{N-1}(x_i-\overline{x})(y_i-\overline{y})}{N-1}}{\sqrt{\dfrac{\sum_{i=0}^{N-1}(x_i-\overline{x})^2}{N-1}}\sqrt{\dfrac{\sum_{i=0}^{N-1}(y_i-\overline{y})^2}{N-1}}},$$

где

$$\overline{x}=\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}x_i\,.$$

КК для полученных результатов составил 0,57.

Таблица 1

Средняя яркость и средняя оценка наблюдателей по станциям

Станция	Яркость, кд/м^2	Оценка	Станция	Яркость, кд/м^2	Оценка
«ЦСКА»	38	4	«Ломоносовский проспект»	108	5
«Трубная»	45	2,66	«Окружная»	111	7
«Хорошевская»	49	5	«Мякинино»	128	3,33
«Рассказовка»	53	3,66	«Сретенский бульвар»	146	3
«Шелепиха»	57	4	«Минская»	149	6
«Славянский бульвар»	61	1,66	«Бутырская»	180	7
«Волоколамская»	62	3,33	«Достоевская»	188	5
«Пятницкое шоссе»	73	3	«Солнцево»	223	6
«Марьина роща»	75	1,66	«Фонвизинская»	225	7
«Петровский парк»	76	5	«Говорово»	239	9
«Боровское шоссе»	90	7,66			

Таблица 2

Шкала Чеддока

c(*x*, *y*)	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0
Корреляция	очень слабая	слабая	средняя	высокая	очень высокая

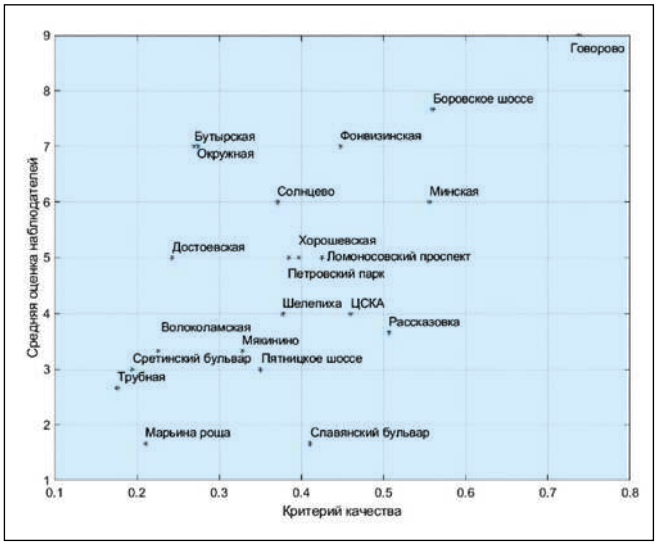


Рис. 3. Рассеяние оценки наблюдателей и критерия качества освещения при пороговой яркости, равной средней яркости на станции

При этом КК принято оценивать по шкале Чеддока (табл. 2).

Отметим, что КК может быть и отрицательным, что соответствует распределению данных вдоль второй диагонали. В этом случае говорят об отрицательной корреляции.

Вопрос пороговой яркости для каждой из станций неоднозначен. Необходимо учитывать, что проведение эксперимента в метро было сопряжено с организационными сложностями и временными ограничениями, в результате чего наблюдатели находились на станции от 5 до 15 мин. При этом они перемещались между станциями в вагонах метро, в которых яркость менялась очень сильно. Согласно проведённым замерам яркости в вагонах, её среднее значение составило 183 кд/м^2. Однако в целом средняя яркость на станциях и средняя яркость в вагонах метрополитена находятся в пределах двух порядков величин – от 38 кд/м^2 на станции «ЦСКА» до 239 кд/м^2 на станции «Говорово».

Предположим, что пороговая яркость должна формироваться частично от средней яркости на станции и средней яркости в вагонах метро:

$$L_{\text{пор}} = cL_{\text{ср.вагон}} + (1-c)L_{\text{ср.станции}},$$

где в нашем эксперименте, как уже говорилось, $L_{\text{ср.вагон}} = 183$ кд/м^2.

На рис. 4 представлена карта рассеяния при $c = 0{,}5$, КК при этом составил 0,76, что являет высокую корреляцию по шкале Чеддока.

Был проведён также расчёт зависимости КК от коэффициента c в диапазоне от 0 до 1 (рис. 5). Больше 80 % тела графика лежит в области высокой корреляции по шкале Чеддока, позволяя сделать осторожное предположение о том, что при обработке результатов необходимо учитывать яркость в вагонах метро.

Исследование критерия качества на основе экспериментальных данных

Широко известная формула объединённого показателя дискомфорта *UGR*

$$UGR = 8\lg\left[\frac{0{,}25}{L_a}\sum_{i=1}^{N}\frac{L_i^2\omega_i}{p_i^2}\right],$$

была получена эмпирически (в результате обобщения экспериментальных данных), но в ней обнаруживают и фи-

зические закономерности. Так, известно мнение [3], что сложение квадратов яркостей и деление на яркость адаптации L_a в формулировке дискомфорта хорошо соотносится с известным отношением «сигнал/шум»:

$$SNR = \left(\frac{A_s}{A_n}\right)^2, \qquad (4)$$

где A_s – амплитуда сигнала, A_n – амплитуда шума.

Изменим формулу ККО (1), с учётом выражения (4), заменой формулы (2) на формулу

$$K(x,y) = \frac{\left|\mathrm{grad}(L^2(x,y)p(x,y))\right|}{\overline{L}^2}.$$

На рис. 6 представлена зависимость КК от коэффициента c. Нетрудно видеть, что, в целом, она аналогична приведённой на рис. 5.

Явление дискомфорта исследуется в области действия закона Вебера-Фехнера [4], согласно которому сила ощущения p пропорциональна логарифму уровня интенсивности раздражителя S:

$$p = k \log \frac{S}{S_0},$$

где S_0 – нижний граничный уровень интенсивности раздражителя, k – некоторая константа.

Введём в формулу ККО (1) логарифм, по аналогии с показателем *UGR*, тогда она примет вид

$$Q = \lg\left[c_{\lg} \frac{1}{K_{\text{пор}}} \int K(x,y)dxdy\right],$$

где $c_{\lg}$ – некоторая константа.

Соответствующая зависимость КК от коэффициента c показана на рис. 7.

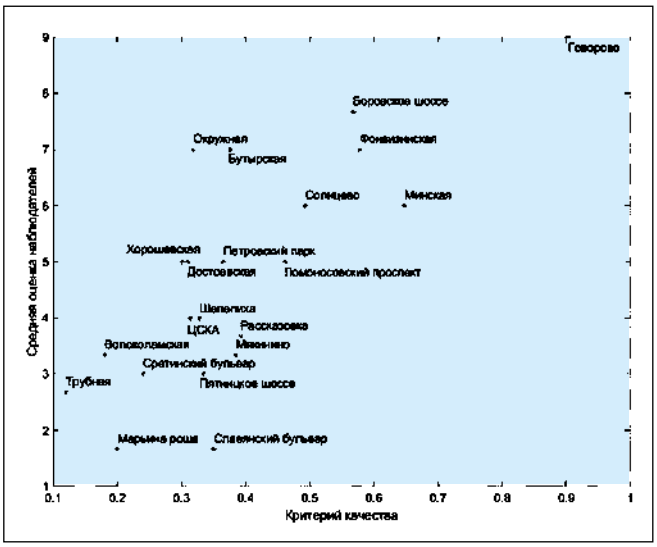


Рис. 4. Рассеяние оценки наблюдателей при пороговой яркости, равной ½ средней на станции и ½ средней в вагоне

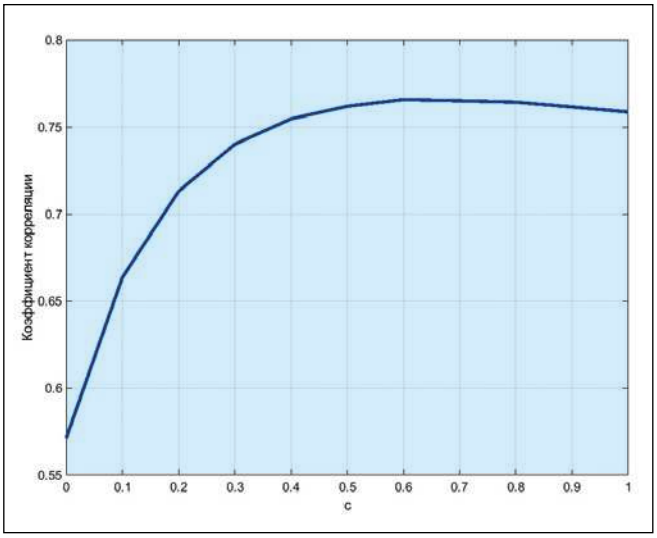


Рис. 5. Зависимость коэффициента корреляции от c

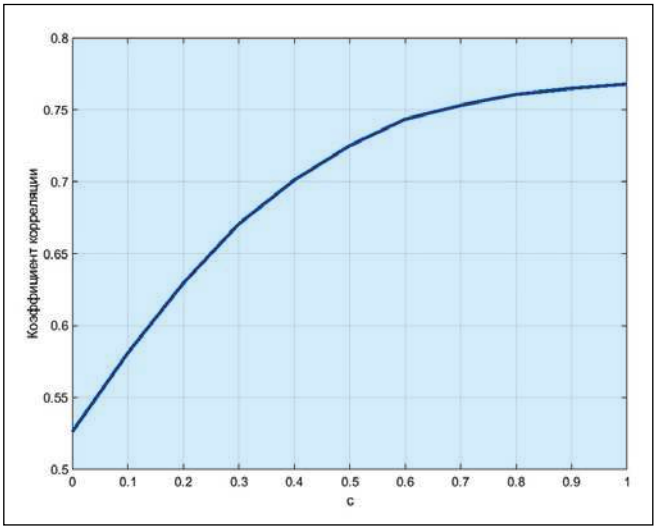


Рис. 6. Зависимость коэффициента корреляции от c для изменённой формулы критерия качества освещения по аналогии «сигнал-шум»

Моделирование станций метрополитена в «*DIALux*»

Смоделируем ОУ и проведём светотехнический расчёт в программе «*DIALux 4.13*» для станций с наибольшими значениями ККО на Солнцевской линии метро.

UGR должен оцениваться у торцевой стены на центральной оси помещения на высоте 1,2 м от пола; он не ограничивается для помещений, длина которых не превышает двойной высоты установки ИС (светильников) над полом, и, согласно СП 32–105–2004, в ОУ пассажирских помещений его среднее значение должно быть не выше 20 с допустимым превышением до 20 %. На рис. 8 представлены визуализации моделей в «*DIALux*» для четырёх станций: «Говорово», «Боровское шоссе», «Солнцево», «Ломоносовский проспект».

Для этих станций был проведён расчёт в «*DIALux*» показателя *UGR*, результаты которого вместе с результатами эксперимента сведены в табл. 3, из которой видно, что уро-

Таблица 3

Результаты моделирования станций в «*DIALux*»

Название станции	Оценки наблюдателей	*UGR*	ККО (Критерий НИУ «МЭИ»)
«Говорово»	9	17	0,94
«Боровское шоссе»	8	16	0,58
«Солнцево»	6	19	0,50
«Ломоносовский проспект»	5	12	0,48

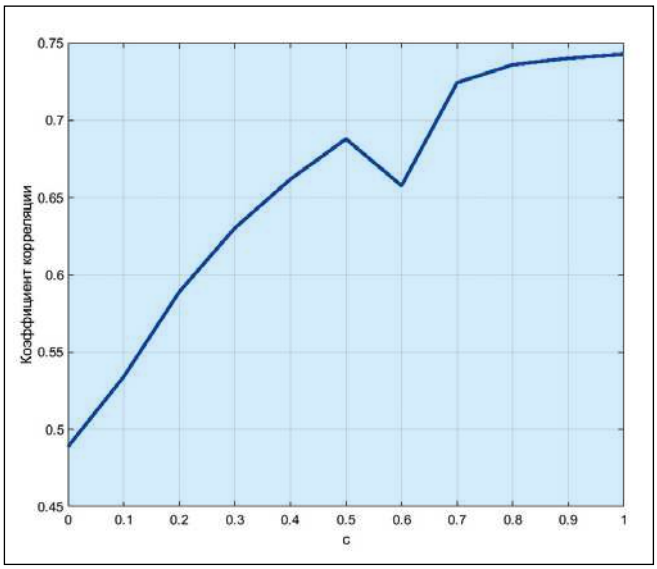


Рис. 7. Зависимость коэффициента корреляции от *c* для измененной формулы предложенного критерия качества освещения (с учётом логарифма)

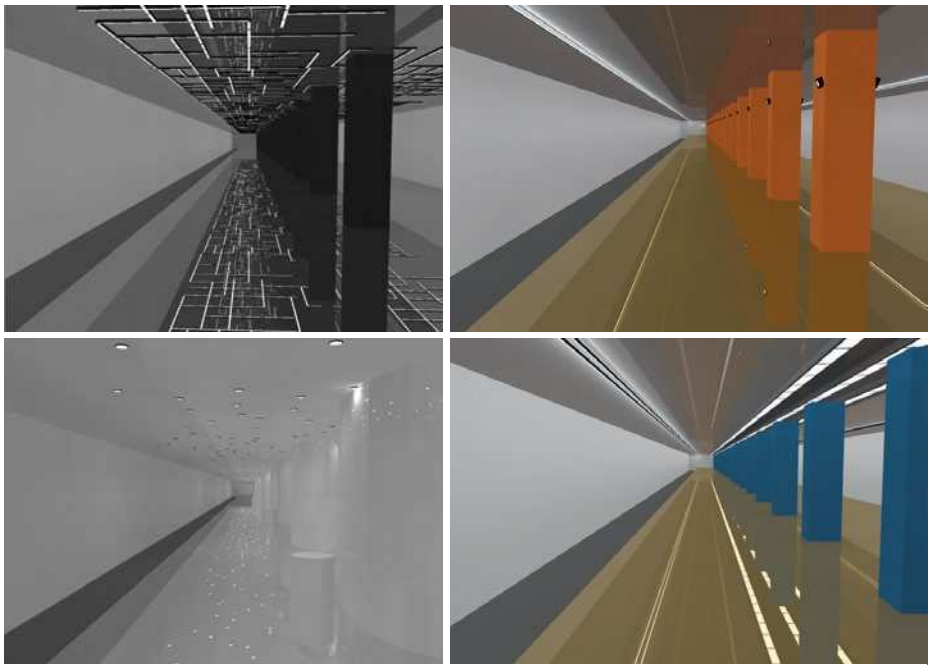


Рис. 8. Визуализация моделей станций Московского метрополитена «Говорово», «Боровское шоссе», «Солнцево» и «Ломоносовский проспект» в программе «*DIALux*»

вень дискомфорта выше всего на станции «Солнцево», тогда как по оценкам наблюдателей (по шкале от 0 до 10) выше всего он на станции «Говорово». Расхождение вызвано тем, что на станции «Солнцево» в расчёте участвовало большее количество ИС малоуглового размера, в то время как протяжённые ИС на станции «Говорово» показателем *UGR* «учитываться» не могут, что и искажает реальность ощущений от ОУ. А между тем расчётный уровень *UGR* на этих четырёх станциях является допустимым, т.к. не превышает 20.

Тем не менее в описанном выше расчёте никак не учтены отражённые блики на полу станций, полученные для фотореалистичного изображения с помощью трассировки лучей, так как, согласно алгоритму расчёта показателя *UGR* в программе «*DIALux*», учитываются только источники (светильники) прямого света. Поэтому для детального анализа далее смоделируем отражённые блики на полу в виде ИС с КСС используемых светильников на потолке, принимая отражение на полу за зеркальное. Результаты расчёта показателя *UGR* в сравнении с оценками наблюдателей для сцены с учётом отражённых бликов представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что нормативные значения *UGR* не выполняются, показывая этим, что заложенный алгоритм расчёта *UGR* для подобных сцен не позволяет корректно оценивать дискомфорт. При этом предложенный ККО тоже показывает (в соответствии с оценками наблюдателей), что освещение на станции «Боровское шоссе» хуже, чем на станции «Ломоносовский проспект». То есть в данном случае нет противоречия между *UGR* и предложенным ККО.

Моделирование станций метрополитена локальными оценками метода Монте-Карло

В рамках нашей предыдущей работы был реализован алгоритм локальных оценок для решения уравнения глобального освещения [1]. Отметим, что, в отличие от «*DIALux*», локальные оценки позволяют моделировать непосредственно яркость в заданной точке, а не освещённость. В созданной нами реализации локальной оценки для визуализации трёхмерных сцен на *C*++ были построены и рассчитаны модели трёх метростанций. Визуализации и фотографии представлены на рис. 9. Для полученных визуализаций были также рассчитаны ККО. Результаты расчётов представлены в табл. 5, из которой видно, что для станций «Говорово» и «Окружная» они оказались очень близки к полученным в эксперименте, а расхождение для станции «Ломоносовский проспект»,

Таблица 4

Результаты моделирования станций в программе «*DIALux*» с дополнительными источниками света, моделирующими блики

Название станции	Оценки наблюдателей	*UGR*	ККО (Критерий НИУ «МЭИ»)
«Говорово»	9	20	0,94
«Боровское шоссе»	8	23	0,58
«Солнцево»	6	29	0,50
«Ломоносовский проспект»	5	22	0,48

вероятно, связано с неточностью построения модели.

Заключение

Эксперимент в Московском метрополитене показал хорошую корреляцию между предложенным ККО и экспертными оценками наблюдателей. Также показано, что моделирование метростанций в программе «*DIALux 4*» и расчёт в ней объединённого показателя дискомфорта *UGR* не даёт корректной информации о дискомфорте, так как не происходит учёт бликов, возникающих в результате многократных отражений; а проведённые расчёты с моделированием бликов вторичными ИС носят лишь исследовательский характер и не могут использоваться в повседневной инженерной практике.

Расчёты ККО на основе моделирования ряда станций в разработанной в рамках работы программе на основе локальных оценок метода Монте-Карло показывают высокую сходимость с экспериментальными данными. То есть (при физически адекватном моделировании уравнения глобального освещения) можно получать достоверные значения ККО ещё на этапе проектирования.

Безусловно, предложенный ККО на основе анализа пространственно-углового распределения яркости требует дополнительных оценок, но уже сейчас можно утверждать, что он не противоречит показателю дискомфорта *UGR*, а уточняет его. (Как не противоречит он и принципу соответствия Н. Бора: «любая новая научная теория должна включать старую и её результаты как частный случай».)

Таблица 5

Экспериментальное и смоделированное значения критерия качества освещения

Станция	Эксперимент	Визуализация
«Говорово»	0,9396	1,0157
«Окружная»	0,3200	0,3991
«Ломоносовский проспект»	0,4755	0,2558

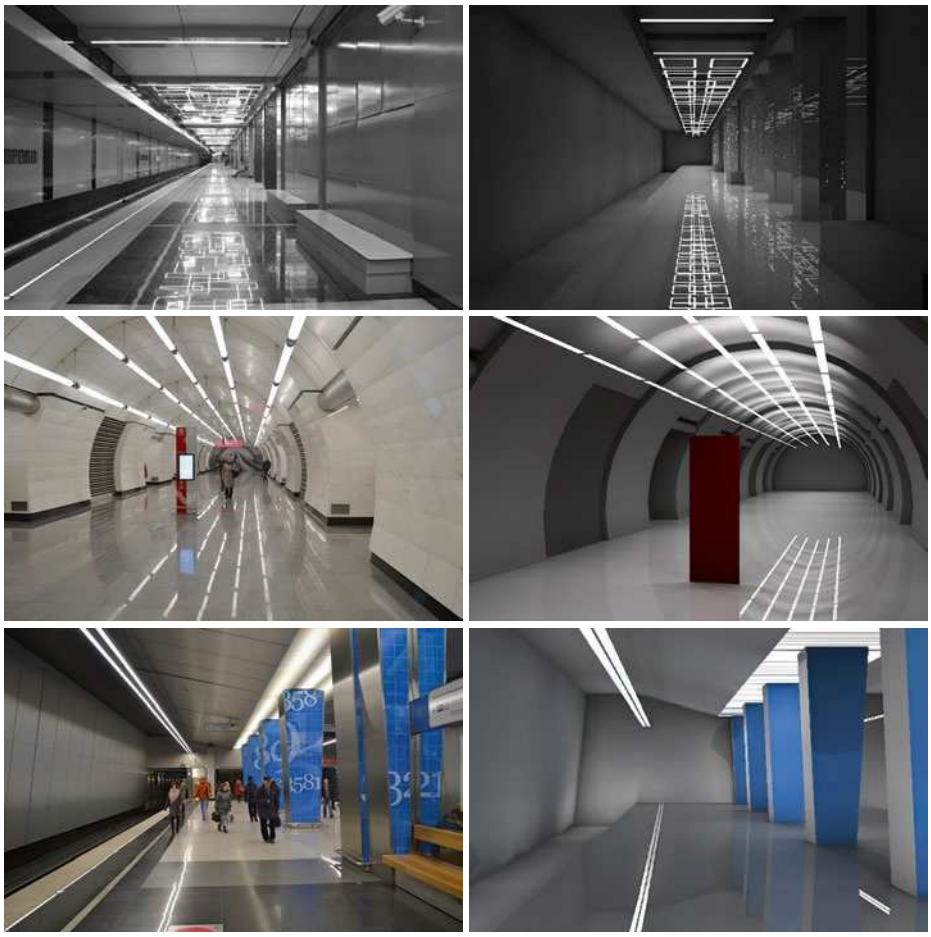


Рис. 9. Фотографии и визуализации станций Московского метрополитена «Говорово», «Окружная» и «Ломоносовский проспект»

Благодарности

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам Московского метрополитена, принявшим участие в эксперименте, а также лично и.о. главного инженера М.А. Шевченко и старшему механику службы электроснабжения П.В. Малютину. Отдельно выражаем благодарность Р.И. Столяревской за помощь в оценке погрешностей измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Budak V., Zheltov V., Notfulin R., Chembaev V.* Relation of instant radiosity method with local estimations of Monte Carlo method // Journal of WSCG. 2016.

2. *Cai H.* Luminance gradient for evaluating lighting // Lighting Res. Technol. 2013, DOI: 10.1177/1477153513512501, 0: 1–21.

3. *Veitch, J.A., Newsham G.R.*, 1996. Determinants of lighting quality II: research and recommendations, American Psychological Association 104th Annual Convention, Toronto, Ontario, 1996–08–09, 1–55.

4. *Mackay D.M.* Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws // Science, 1963. 139: 1213–1216.

Будак Владимир Павлович, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ*

Желтов Виктор Сергеевич*, кандидат техн. наук. Окончил в 2005 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ). Ассистент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Мешкова Татьяна Валерьевна, *инженер. Окончила в 2010 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ). Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Чембаев Виктор Дмитриевич, *инженер. Окончил кафедру «Компьютерные системы и сети» (ИУ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

В России нашли способ упростить и удешевить производство светооптических устройств

При кооперативной люминесценции поглощённая в двух или более активных центрах люминесцирующей молекулы энергия передаётся в одно место – «эмиттер». При этом длинноволновое (обычно, ИК) излучение преобразуется в более высокоэнергетическое коротковолновое (например, видимое). Это явление наблюдается при оптическом возбуждении особых «кооперативных» люминофоров – специально подобранных пар редкоземельных ионов – иттербия, тулия, гольмия, эрбия и др. В такой паре (Yb^{3+} и Er^{3+}; Yb^{3+} и Ho^{3+}; Yb^{3+} и Tm^{3+}или Yb^{3+}и Tb^{3+}) один из ионов служит сенсибилизатором, то есть усиливает восприимчивость к излучению, а другой – активатором, то есть образует в основном веществе центры свечения. Редкоземельные металлы внедряют в кристаллические матрицы, стекло или керамику и используют при производстве излучателей, лазеров, световодов, преобразователей энергии и биосенсоров. Оптические свойства этих объектов во многом обусловлены их размерами, формой и структурой поверхности, а процесс их создания довольно дорогостоящий и трудоёмкий.

Учёные из Балтийского федерального университета им. И. Канта совместно с коллегами из Калининградского государственного технического университета выяснили, что такой же механизм свечения реализуется при взаимодействии всего двух ионов иттербия Yb^{3+}. Исследователи обнаружили, что при воздействии ИК излучением на порошок его оксида Yb_2O_3 возникает красное свечение, то есть люминесценция не требует использования второго вещества. Они показали, что оптическую сторону этого эффекта можно контролировать, меняя мощность возбуждающего излучения и его поляризацию.

Учитывая дороговизну редкоземельных металлов, использование только Yb_2O_3 в производстве светооптических (в т.ч. лазерных) устройств даёт перспективы для его существенного упрощения и удешевления. Кроме того, устойчивость иттербия к экстремальным температурам позволит материалу выдерживать мощное излучение. Также полученные результаты могут быть полезны при создании преобразователей энергии в области ближнего ИК диапазона и использованы в оптосенсорике.

«Полученный эффект может применяться для улучшения приборов ночного видения. Оптика улавливает ИК излучение – тепло – и на его основе формирует изображение, а способность Yb_2O_3 усиливать сигнал поможет сформировать более сильный поток, что сделает изображение гораздо чётче, чем в приборах, линзы которых изготовлены с помощью традиционных технологий», – рассказала одна из исследователей, снс НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанофотоника» БФУ Анна Цибульникова.

Статья исследователей опубликована в журнале «*Optics Communications*», Vol. 459.

indicator.ru
30.12.2019

ГУП «МОССВЕТ» установило новое наружное освещение на 6 объектах здравоохранения и социальной защиты населения Москвы

В ноябре ГУП «Моссвет» завершило работы по устройству нового наружного освещения на территориях Государственных бюджетных учреждений «Детский бронхолегочный санаторий № 68», «Городская клиническая больница им. В.В. Вересаева» и «Вороновская больница» Департамента здравоохранения Москвы.

Также весь комплекс работ по устройству наружного освещения был выполнен на территориях госбюджетных учреждений «Пансионат «Коньково» для ветеранов войны», «Центр реабилитации инвалидов «Красная Пахра»» и «Научно-методический геронтологический центр «Переделкино» Департамента труда и социальной защиты населения Москвы.

Всего было установлено 840 опор с современными светильниками со светодиодами. Новое оборудование, соответствующее мировым стандартам и требованиям, обеспечивает качественное освещение всех территорий.

Для безопасного и комфортного пребывания в вечернее время по периметру территорий и на подъездных дорогах установлены высокие (8–9-метровые) опоры, а для зон отдыха и пешеходных дорожек выбраны невысокие (4,5-метровые) торшеры со светильниками локаничного дизайна. Всего установлено 689 торшеров, 33 девятиметровых и 118 восьмиметровых опор.

mossvet.ru
20.12.2019

О влиянии освещения светодиодами и его динамики на зрительные функции и общее состояние наблюдателя

Ю.А. СКОРИК
НИУ «МЭИ», Москва
E-mail: skorikyulia@gmail.com

Аннотация

Постоянно совершенствующиеся светодиодные ИС и системы управления освещением открывают потенциал для создания новейших ОУ, которые позволяют повышать эффективность работы человека как кратковременно, так и в течение всего активного периода жизни. Для массового создания подобных ОУ необходимо наличие методики оценки их эффективности. Подобная методика разработана, апробирована, испытана и имеет перспективы развития, требующего постоянного притока и учёта новой информации. В связи с этим в статье приводятся экспериментальные оценки параметров зрительных функций и психоэмоционального и физиологического состояний наблюдателей при статичном и динамичном освещении светодиодными ИС.

Ключевые слова: зрительная работоспособность, динамичное освещение, комплексная оценка состояния наблюдателя, коррелированная цветовая температура.

Введение

Зрительная работа инженеров-проектировщиков зачастую предполагает большое зрительное напряжение. Особенно это проявляется при операции перевода большинства документов и чертежей в электронный вид, обычно, с использованием ПК. В существующих нормативных документах регламентируются уровни освещённости в проектных залах и конструкторских бюро (горизонтальная освещённость должна быть не менее 400 лк, в рабочих кабинетах и офисах – 300 лк, а вертикальная освещённость на экране монитора – 200 лк) [1]. При этом не учитываются последние данные по восприятиям уровня освещённости и спектра излучения ИС. А между тем в области нейроанатомии и нейрофизиологии светочувствительной системы животных и человека сделаны открытия [2–5], обуславливающие актуальность создания ОУ с варьируемой коррелированной цветовой температурой $T_{кц}$ в течение дня [6][1].

Постоянное совершенствование светодиодных ИС и систем управления освещением открывает новые возможности в освещении помещений, где ведётся напряжённая зрительная работа. В частности, работа с чертежами и работа по переводу бумажной информации в электронный формат – виды деятельности, где важны скорость и скрупулёзность зрительной работы сотрудников.

С «приходом» светодиодов [10] варьирование $T_{кц}$ стало легко выполнимым и регулируемым, и целью настоящей работы (проведённой в 2017 г.) было выявление закономерностей изменения не только зрительной работоспособности (ЗР) и зрительного утомления (ЗУ), но и психоэмоционального и функционального состояний наблюдателя, занятого напряжённой зрительной работой, при разных типах освещения светодиодами (статичного при разных $T_{кц}$ и динамичного).

Проведение экспериментов

Работа по комплексной оценке зрительных функций (ЗФ), психоэмоционального и функционального состояний наблюдателя проводилась в Москве в офисном центре, в служебном помещении для обработки чертежей. Оценка проводилась как при статичном освещении (СО) белыми светодиодами разной $T_{кц}$, так и при динамичном освещении (ДО) светодиодами. Реализация сценариев освещения стала возможной, благодаря использованию специализированной системы «*Esylux NOVA Quadro Set*».

Для большей объективности были созданы 2 группы наблюдателей (основная и контрольная). В основную группу наблюдателей вошли 3 человека в возрасте от 30 до 54 лет. Направление работы – нормативный контроль, т.е. проверка чертежей. В контрольную группу вошли 4 человека того же возрастного диапазона. Направление работы – обработка чертежей с помощью ПК, в том числе нормоконтроль. Все наблюдатели обладали нормальным зрением при отсутствии цветовых аномалий, были объединены по характеру работы, обладали одинаковым набором технических средств и не имели различий в образе жизни и хронических заболеваниях.

Для освещения использовались ОП со светодиодами, содержащие микропризматический рассеиватель, обеспечивающий отсутствие зрительного дискомфорта даже при работе с несколькими экранами (дисплеями) ПК. Отличительной особенностью ОП являлась возможность изменения в течение дня их $T_{кц}$ в соответствии с известным предложением [6]. $T_{кц}$ ОП измерялись с помощью спектроколориметра «ТКА-ВД». $T_{кц}$ ОП, соответствующая нейтрально-белому (НБ) освещению, составляла 4230 K, тёпло-белому (ТБ) – 2970 K и холодно-белому (ХБ) – 5670 K. Уровни освещённости составляли: 500 лк (Г-0,8) и 250 лк (В-1,2). При коэффициентах отражения пола, стен и потолка 0,5, 0,7 и 0,7 соответственно показатель дискомфорта M составил 13, что соответствует его нормируемому значению.

Перед началом серии тестирований при каждом новом типе освещения наблюдатели работали при созданном сценарии освещения 2 рабочие недели. Основная группа наблюдателей (а после них и контрольная) проходила тестирование сначала при СО с разными $T_{кц}$, а затем при ДО (рисунок).

Изменение происходило автоматически с помощью программного обеспечения, заложенного в комплект ОП со светодиодами. В начале рабочего дня (9:00) $T_{кц}$ составляла 5500 K. Затем плавно снижалась, со-

[1] Не учитываются не только зрительные ощущения, но и уровень циркадной эффективности биологического действия излучения ИС [7, 8]. А ведь здоровье и психоэмоциональное состояние человека зависят от уровня освещённости и $T_{кц}$ [6]. Так, с ростом $T_{кц}$ в некоторых пределах отмечен рост эффективности работы наблюдателя [9].

ставляя к концу первой половины дня (13:00) 4000 К. Второй максимум $T_{кц}$ наблюдался через час, с приближением окончания обеденного периода, к концу рабочего дня (18:00) $T_{кц}$ вновь снижалась до 3800 К.

При подготовке программы работы учитывалось, что проведение экспериментальной оценки (тестирования) суммарно не должно занимать более 1 ч рабочего времени в день (не более 15 % рабочего времени).

Тестирование проходило в начале и конце рабочего дня, до и после обеда. В результате были выполнены оценки:

1) ЗР, с помощью созданной программы по отмечанию колец Ландольта с помощью ПК [11, 12];

2) ЗУ, с помощью программы оценки ЗУ [9, 13–15];

3) психоэмоционального состояния, с помощью ответов на тест-вопросы по методике «Самочувствие, активность, настроение» («САН»);

4) медико-биологического состояния наблюдателя (с помощью методики неинвазивного анализа (без использования забора крови).

Далее, более ранние исследования [13, 14] позволили разработать и апробировать методику проведения комплексной оценки состояния наблюдателя при разных типах освещения. При этом в рамках оценки ЗР были рассмотрены концентрация и устойчивость внимания (с подсчётом каждые 60 с в 5-минутном тестировании), показатель переключаемости, коэффициенты точности и работоспособности (рассчитанные по трём основным методикам), коэффициент работоспособности, а также уточнённый, минимальный и максимальный темпы выполнения работ. При этом объём оцениваемой информации был достаточно велик и не позволял работать с тестами на бумажных носителях, т.к. существенно замедлял обработку результатов. Поэтому был разработан программный продукт, позволяющий работать с таким количеством информации [11, 12]. В начале работы наблюдатель указывал свои ФИО, возраст и делал примечание по особенностям зрения. (Так, некоторые участники эксперимента имели возможность зафиксировать использование во время теста очков или контактных линз.) В течение 300 с наблюдатель указывал кольцо Ландольта, выбранное программой случайным образом. По окончании времени результаты теста сохранялись в виде *excel*-файла, где автоматически происходил расчёт необходимых значений. Результатом исследования по ЗР явился коэффициент ЗР R, который рассчитывался по формуле

$$R = T \cdot d,$$

где d – общее количество просмотренных символов, T – коэффициент точности, рассчитываемый как

$$T = \frac{a-(b+c)}{a+b},$$

где a – количество правильно проверенных символов, b – количество пропущенных символов, c – количество допущенных ошибок (неправильно отмеченных символов).

Была проведена также оценка ЗУ [9, 13–15] с расчётом относительного ЗУ Ya по формуле

$$Ya = (1-\frac{t_2}{t_1}) \cdot 100,$$

где t_1 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга перед началом исследования на ЗУ, t_2 – время исчезновения различия в восприятии яркости двух половин круга после завершения этапа исследования на ЗУ.

Таблица 1

Коэффициент зрительной работоспособности *R*, о.е., при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
ТБ-СО	0,66±0,06	0,65±0,05	0,69±0,03	0,71±0,05
НБ-СО	0,62±0,06	0,67±0,05	0,68±0,06	0,73±0,07
ХБ-СО	0,64±0,06	0,69±0,06	0,72±0,06	0,74±0,06
ДО	0,68±0,05	0,81±0,05	0,81±0,09	0,82±0,06

Таблица 2

Относительное зрительное утомление Ya, о.е. при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
ТБ-СО	0,51±0,01	0,49±0,04	0,40±0,04	0,54±0,03
НБ-СО	0,54±0,04	0,50±0,03	0,40±0,06	0,45±0,04
ХБ-СО	0,51±0,01	0,52±0,04	0,42±0,03	0,55±0,03
ДО	0,54±0,03	0,40±0,08	0,43±0,04	0,45±0,04

Оценка психоэмоционального состояния наблюдателя проводилась по методике «САН» [16], а оценка медико-биологического состояния наблюдателя (для отражения изменений в его состоянии) – путём неинвазивного анализа (без использования забора крови [17]).

Результаты

Результаты измерений прошли статистическую оценку, основанную на распределении Стьюдента [18]. Погрешность измерений охарактеризована доверительным интервалом, в который истинное значение измеряемой величины попадает с заданной доверительной вероятностью 95 %.

Сравнительные оценки значений R при НБ-, ТБ- и ХБ-СО и при ДО представлены в табл. 1, а аналогичные оценки ЗУ – в табл. 2.

Из приведённых данных видны отличия значений в точках 13:05 и 17:55, соответствующих завершению длительной зрительной нагрузки. Это определяется окончанием напряжённой зрительной работы в первой и второй половинах рабочего дня. Необходимо отметить, что к концу и в начале рабочего дня значение R при ДО существенно выше, чем при ХБ-СО. На основе опроса наблюдателей это может быть объяснено накопленным положительным опытом при работе наблюдателя при ДО в период привы-

Таблица 3

Показатели «Самочувствие», «Активность», «Настроение», о.е., при разных типах освещения

Время суток	9:05	13:05	13:55	17:55
	«Самочувствие»			
ТБ -СО	0,92±0,03	0,88±0,03	0,84±0,04	0,84±0,11
НБ -СО	0,92±0,03	0,89±0,03	0,85±0,03	0,84±0,05
ХБ -СО	0,91±0,04	0,81±0,03	0,81±0,05	0,84±0,04
ДО	0,90±0,05	0,91±0,03	0,84±0,03	0,85±0,03
	«Активность»			
ТБ -СО	0,90±0,06	0,79±0,06	0,69±0,06	0,61±0,05
НБ -СО	0,85±0,06	0,80±0,04	0,73±0,04	0,67±0,05
ХБ -СО	0,88±0,06	0,80±0,08	0,68±0,06	0,75±0,04
ДО	0,91±0,05	0,90±0,03	0,84±0,06	0,82±0,05
	«Настроение»			
ТБ -СО	0,92±0,04	0,84±0,05	0,80±0,05	0,77±0,02
НБ -СО	0,91±0,03	0,85±0,04	0,81±0,04	0,81±0,02
ХБ -СО	0,92±0,06	0,83±0,05	0,75±0,04	0,72±0,05
ДО	0,89±0,04	0,88±0,04	0,85±0,04	0,85±0,03

кания к новому типу освещения и, наоборот, негативным опытом работы при ХБ-СО. Именно поэтому в работе данные, полученные от наблюдателей, оценивались в динамике.

Наименьшие уровни ЗУ после окончания рабочего дня наблюдаются при НБ-СО и ДО.

Значения показателей оценки психоэмоционального состояния наблюдателей (табл. 3), особенно во временных точках 13:05 и 17:55, подтверждают лучшую готовность наблюдателей к длительной работе при ДО.

Результаты анализа данных показывают взаимозависимую динамику показателей ЗР и психоэмоционального состояния наблюдателей. При НБ- и ХБ-СО *R* выше, чем при ТБ-СО. В то же время показатель настроения при ХБ-СО к концу рабочего дня снижается значительно больше, чем при ТБ- и НБ-СО. Что касается активности, то наиболее благоприятным для наблюдателя оказалось ДО. Сравнение данных показывает, что ДО обладает рядом преимуществ перед СО, особенно перед ХБ- и ТБ-СО.

Заключение

Описанные оценки показывают, что использование светодиодных ИС НБ-света более предпочтительно по сравнению с аналогичными ИС ТБ- и ХБ-света. При повышении $T_{кц}$ виден рост ЗР при снижении психоэмоциональных характеристик наблюдателя, а уровни относительного ЗУ к концу рабочего дня при ТБ- и ХБ-СО становятся почти одинаковыми и вдвое большими, чем при НБ-СО и ДО. Также видно, что с ростом ЗР при ХБ-СО растёт и ЗУ[2].

Приведённые данные свидетельствуют о том, что имеющаяся методика оценки ЗФ и общего состояния наблюдателя достаточно отработана и может применяться в дальнейшем. Возможные варианты дальнейших изменений, улучшающих методику:

1) разделение исследований по типам: лабораторное (более детальное, подходящее для небольших групп на-

[2] Стоит отдельно отметить, что:

1) помещение имело особенность (отсутствие доступа естественного освещения), которая обеспечила возможность получения информации строго при заданном уровне освещения. Это позволило провести серию экспериментов в условиях, приближённых к лабораторным. Комплексность исследуемых параметров и анализ их динамики в течении рабочего дня обуславливает достоверность полученных данных;

2) комплексная оценка состояния наблюдателя при разных типах освещения даёт вариативность при разработке сценариев освещения для того или иного вида деятельности наблюдателей разных возрастов и профессий;

3) такого рода исследования целесообразно упрощать или дополнять для получения как можно большего количества полезной информации для работ по нормированию и проектированию ОУ для ДО.

Рисунок. График изменения $T_{кц}$ для динамичного сценария освещения

блюдателей) и экспериментальное (менее детальное, подходящее для проверки результатов лабораторных исследований с большим количеством наблюдателей);

2) замена сложного и дорогостоящего медицинского обследования, использовавшегося в описанном эксперименте (например, на электроэнцефалографию головного мозга), или же только измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений;

3) использование разных методик оценок психоэмоционального состояния наблюдателя.

Важно отметить, что усложнение методики комплексной оценки состояния наблюдателей при разных типах освещения не должно затягивать тестирование.

В ходе проведённых исследований показано, что работа с малочисленными группами результативна. Это позволяет говорить о возможности создания малочисленных экспериментальных групп наблюдателей разного возраста, разного рода деятельности, работающих на разных территориях и т.д. Такой подход позволит собрать данные о влиянии ДО на максимальное количество «типажей», на которые могут быть разделены наблюдатели.

Полученные данные позволят создать базу для внесения дополнений в нормативные документы, на которые в дальнейшем сможет ссылаться проектировщик при создании ОУ для ДО.

Благодарности

Автор благодарит врача высшей категории В.Н. Дубова за проведение оценки медико-биологического состояния наблюдателей и предоставленное медоборудование и доцента кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ», кандидата техн. наук Н.П. Елисеева за консультирование при написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. *Brainard G.C., Hanifin J.P., Rollag M.D., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Sanford B.* Human melatonin regulation is not mediated by the three cone photopic visual system // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2001. – Vol. 86, No. 1. P. 433–436.

3. *Brainard G.C., Hanifin J.P., Greeson J., Byrne B., Glickman G., Gerner E., Rollag M.D.* Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor // J. Neurosci. – 2001. – Vol. 21, No. 16. – P. 6405–6412.

4. IES TM-18: 2008 «Light and Human Health: An Overview of the Impact of Optical Radiation on Visual, Circadian, Neuroendocrine and Neurobehavioral Responses».

5. DIN V 5031–100–2009 «Физика оптических излучений и светотехника. Часть 100. Незрительные воздействия света на людей. Величины, условные обозначения в формулах и спектры действия». (*Дата введения в действие:* 01.06.2009. *Статус:* Заменён).

6. *Ван Боммель В*. Динамичное освещение рабочих помещений – по уровню освещённости и цвету // Светотехника – 2006 – № 6 – С. 15–18.

7. *Gall D. et al*. Definition and measurement of circadian radiometric quantities / Proc. CIE Symp.'04 on Light and Health. – 2004. – P. 129–32.

8. *Rea M. S. et al*. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system // Lighting Research & Technology. – 2012. – Vol. 44, No. 4. – P. 386–396.

9. *Архангельский Д. В., Снетков В.Ю.* Исследования влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека с учётом его циркадных ритмов // Вестник МЭИ. – 2012. – № . 5. – С. 104.

10. Bio-safety standardization of the LED light sources (WG report). – Tokyo: Japanese Commission on Illumination, 2004.

11. *Скорик Ю.А., Елисеев Н.П., Григорьев А.А*. Анализ методик и совершенствование оценки зрительных функций наблюдателя // Вестник МЭИ. – 2018. – № 2. – С. 95–101.

12. *Скорик Ю.А., Бычин Е.Ф., Дубов В.Н.* Комплексная оценка влияния светодиодного освещения на зрительную работоспособность, психоэмоциональное и физиологическое состояние учащихся высшей школы // Вестник МЭИ. – 2018. – № 4. С. 97–104. DOI: 10.24160/1993–6982–2018–4–97–104.

13. *Черезова М.В., Кудрявцева М.В., Снетков В.Ю*. Тест-программа для оценки качества текстовых изображений на дисплее компьютера / Тез. докл. науч.-техн. конф. «Молодые светотехники России». – М.: Вигма, 2009. – С. 86–88.

14. *Атаев А.Е., Бынина М.В., Снетков В.Ю*. Определение визуальных параметров индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. – 2012. – № 2. – С. 122–125.

15. *Григорьев А.А., Бынина М.В, Снетков В.Ю*. Определение оптимального диапазона контраста знака с фоном индивидуальных средств отображения информации // Вестник МЭИ. – 2012. – № 5. – С. 92–94.

16. *Доскин В.А., Лаврентьева Н.А., Шарай В.Б., Мирошников М.П*. Опросник «САН» / В кн.: Психологические тесты. Т. 1; Под ред. А.А. Карелина. – М.: Владос, 2000.

17. «Способ оценки расстройств гемодинамики» / Пат. Украины № 2216, 1998; «Способ диагностики вегето-сосудистых пароксизмов» / Пат. Украины № 3028, 2004. Бюл. № 10; «Процесс неинвазивного определения показателей гомеостаза объекта биосреды» / Пат. Украины № 3546, 2004. Бюл. № 11.

18. *Рассел Д*. Т-критерий Стьюдента: моногр. – М.: VSD, 2013. – 741 с.

Скорик Юлия Александровна,
инженер. Окончила в 2011 г. кафедру «Светотехника» МЭИ (ТУ) и в 2019 г. – аспирантуру по специальности «Светотехника и источники света» в НИУ «МЭИ»

О влиянии источников света на цвета объектов[1]

Ф. АТАЛАР, К. УЗУН, А. ГЕДИКЛИ, А.Е. ЙЫЛМАЗ[1], М. УУР

Стамбульский университет, Стамбул, Турция

[1] E-mail: aersoy@istanbul.edu.tr

Аннотация

Наличие освещения является одной из основных потребностей людей, облегчая их жизнь и улучшая её качество. Источники света разных типов используются во многих местах, таких как жилые дома, улицы, рабочие места, больницы, заводы и т.д. В этом исследовании рассмотрено влияние источника света и отражающей поверхности освещаемого объекта на такие параметры, как коррелированная цветовая температура, блёскость, координаты цветности и доминирующая длина волны. При этом использовались четыре источника света: излучающая тёпло-белый свет галогенная лампа накаливания, светодиодная лампа тёпло-белого света и две светодиодные лампы холодно-белого света. Исследования проводились применительно к 10 образцам бумаги и 10 образцам ткани. Цвета поверхностей бумаги и тканей были выбраны из основных цветов спектра. Характеристики отражённого от поверхности света измеряли колориметром *CS-200* компании *Konica Minolta*. Сравнение результатов проводилось применительно к одним и тем же цветам применительно к коррелированной цветовой температуре, блёскости, координатам цветности и доминирующей длине волны

Ключевые слова: коррелированная цветовая температура, блёскость, координаты цветности, доминирующая длина волны.

1. Введение

Свет представляет собой особую разновидность энергии, которая распространяется в виде волн и действует как частица, вследствие чего его описание осуществляется в рамках и волновой, и корпускулярной теории. Эти теории дополняют друг друга и объясняют две разные особенности световой энергии [1].

Термин «цвет» можно определить как результат воздействия на наши органы зрения света, отразившегося от разных объектов. Говоря о концепции цвета, важно выделить группы лучей, имеющих разные длины волн и характеризующиеся различными тоном, насыщенностью и интенсивностью. Наименование цвета определяется отражаемым им светом, причем относящиеся к одному и тому же семейству цвета имеют присущие им тона, которые отличаются друг от друга наименованиями и насыщенностью. Насыщенность цвета определяется его зрительным воздействием и чистотой. Для обеспечения хорошего восприятия цвета требуется здоровый глаз, должным образом реагирующий на свет, попадающий в него после отражения от разных объектов, и находящаяся в идеальном состоянии зрительная зона коры головного мозга. Под воздействием световых волн глаз вырабатывает сигналы, которые по нервной системе передаются в мозг, где и происходит распознавание цвета [2]. Короче говоря, если попадающий в глаз свет относится к физическим явлениям, то протекающие в глазе процессы имеют физиологическую природу, а восприятие лучей света органами зрения относится уже к области психологии. Взаимодействие наших органов чувств с окружающей средой основано главным образом на зрительном восприятии световых и цветовых стимулов. Цвета, зависящие от длины волны попадающего в глаз света, который характеризуется высоким или низким уровнем колебательной энергии, оказывают на людей психологическое воздействие и влияют на их действия. Если говорить о психологическом воздействии цвета, то цвет влияет на умственную деятельность людей, их физическую работоспособность и психологическое состояние, тем самым играя главную роль во взаимодействии человека с окружающей средой [3]. Под освещением понимают генерацию света с целью сделать видимыми объекты и окружающую среду. Освещение относится к той области искусства и науки, которая устанавливает связь между потребителем и местом его пребывания, используя при этом связанный со светом инструментарий. Освещение является основным факторов при оценке атмосферы, формируемой в том или ином месте.

В [2] было обращено внимание на значимость цвета для эргономики в части установления законов, описывающих связь между объектами (используемыми людьми) и окружающей средой (населённой людьми). Важность цвета, который влияет на физическое и психологическое восприятие людей, особенно проявляется при установлении соответствия между

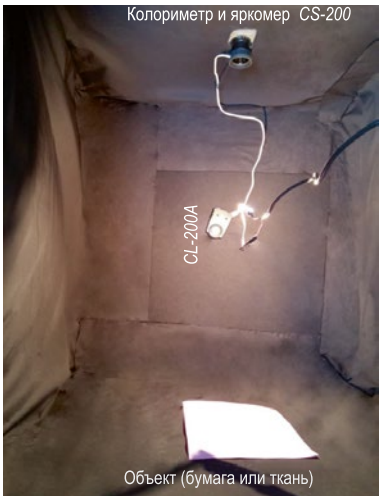


Рис. 1. *а* – закрытый чёрный ящик и измерительные приборы; *б* – чёрный ящик без боковой стенки и измерительные приборы

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

индивидуумом, объектом и окружающей средой. В [2] проанализированы применение цвета и его психологическое воздействие в различных условиях. При этом подчёркивается особая эргономическая значимость цвета как психологического фактора, влияющего на мотивацию, внимательность, общение, креативность и т.д. людей. Кроме того, этим же автором было показано, что цвет имеет важное значение для улучшения производственных условий, облагораживания рабочих мест и вписывания людей в окружающую их среду [4].

В [5] было проведено рассмотрение влияния цвета на восприятие рекламы, продемонстрировавшее сильную зависимость предпочтений потребителей от цвета. Цвет, стимулирующий наше восприятие, воздействует на наши чувства, помогая потребителям получить более полное представление о предлагаемых им товарах и услугах. Печатные рекламные материалы были проанализированы с точки зрения их цвета, и авторы [5] постарались показать, что различные цвета воздействуют по-разному.

Физическое и психологическое воздействие цвета играет главную роль в восприятии рекламы. В данной работе были проведены лабораторные исследования влияния естественных и искусственных источников света на свет, который отражается от имеющих разные цвета поверхностей.

2. Материалы и методы

Исследования проводились в лаборатории высоких напряжений строительного факультета Стамбульского университета. Экспериментальная установка показана на рис. 1. Для проведения экспериментов был сконструирован и изготовлен светонепроницаемый ящик размером 1×1×1 м. Изнутри ящик был облицован чёрным неотражающим и светопоглощающим материалом [6–9]. В середине верхней части и в середине боковой стенки ящика были сделаны отверстия диаметром 4 см. Верхнее отверстие, предназначенное для размещения источника света, оставалось открытым, тогда как боковое отверстие использовалось для размещения колориметра и яркомера *CS-200* (рис. 2). Ещё один прибор, колориметр *CL-200A*, был помещён внутрь ящика (рис. 3). Эти приборы использовались для измерения

Рис. 2. Положение измерительного прибора

Рис. 3. Колориметр *CL-200A*

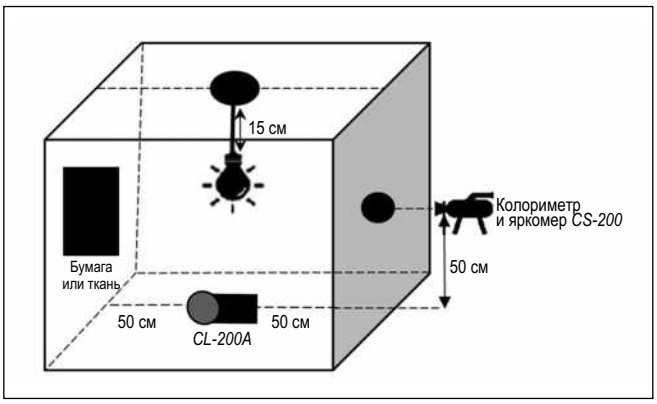


Рис. 4. Местоположение объектов

и контроля освещённости, создаваемой источником света в процессе проведения исследований. После того, как оба устройства были размещены на отверстиях, были приняты меры для устранения возможности проникновения через них света при проведении экспериментов.

Расположение объектов исследований (далее – объекты) показано на рис. 4. При проведении экспериментов указанные на рис. 4 расстояния оставались неизменными для всех образцов бумаги и тканей.

Колориметр и яркомер *CS-200* располагался напротив центра объекта на расстоянии 100 см от него.

В литературе можно найти работы, в которых измерялись изменения цветовой температуры света разных источников света при отражении его от цветных поверхностей. В [10, 11] исследовали восприятие и спектральные коэффициенты отражения различных цветов, формирующих состоящую из 24 цветов карту компании *GretagMacbech*. Наши исследования проводились с использованием разных цветов и поверхностей: 10 листов бумаги разного цвета (размер А4, плотность 80 г/м^2) и 10 разноцветных кусков одной и той же ткани (высота стопы 2 мм). Для обеспечения точности проведения исследований и возможности рассмотрения влияния структуры поверхности, цвета бумаги и ткани постарались сделать одинаковыми.

Исследования проводились применительно к 4 источникам света: галогенной лампе накаливания (ГЛН) мощностью 75 Вт, светодиодной лампе (СДЛ) тёпло-белого света мощностью 9 Вт, СДЛ холодно-белого света мощностью 3 Вт и СДЛ холодно-белого света мощностью 5 Вт (см. таблицу). Эти источники света были выбраны в целях сравнения широко использовавшихся ранее ГЛН с СДЛ, которые в настоящее время стали очень популярными и область применения которых непрерывно расширяется. Кроме того, СДЛ разной мощности использовались для исследования влияния интенсивности света. Однако главной задачей данного исследования являлось установление различий между искусственными источниками света и естественным светом, так что данные, полученные в ходе этих исследований, сравнивались с данными, полученными при использовании естественного света.

Блёскость измерялась в диапазоне яркостей от 0,01 до 200000 кд/м^2, и при этом разрешение прибора было установлено равным 1°. Прибор *CL-200A* использовался для подтверждения неизменности освещённости на всём протяжении исследований. Для определения влияния источника света были проведены измерения кор-

Рис. 5. *а* – цвета бумаги; *б* – цвета ткани; *в* – сравнение поверхностей голубых ткани (слева) и бумаги (справа)

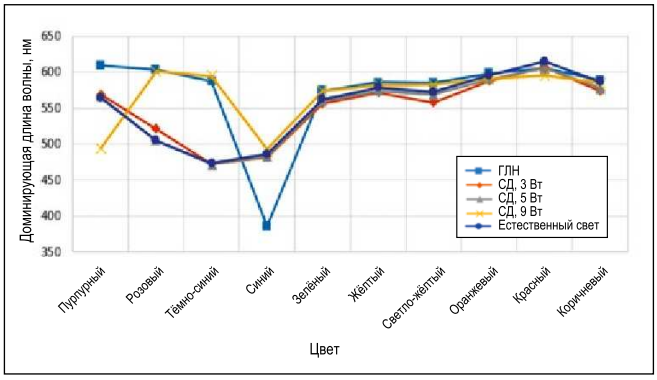


Рис. 6. Зависимость доминирующей длины волны от цвета бумаги

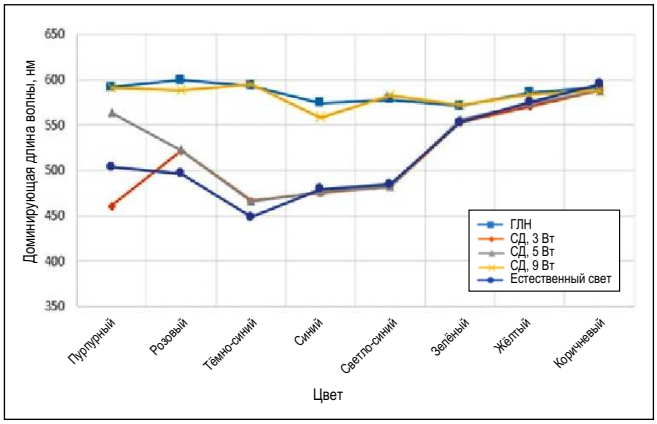


Рис. 7. Зависимость доминирующей длины волны от цвета ткани

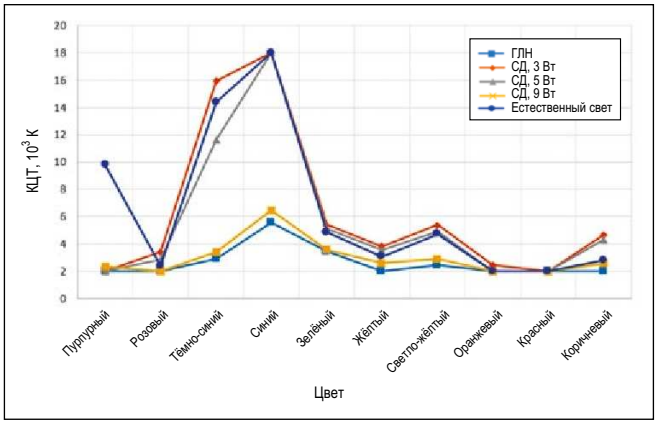


Рис. 8. Зависимость КЦТ от цвета бумаги

релированной цветовой температуры (КЦТ), блёскости, координат цветности и доминирующей длины волны отраженного объектами света. Анализ результатов этих измерений, которые представлены на рис. 6–11, позволил выбрать наиболее подходящие для глаз людей условия, причём в качестве основы для сравнения выступал естественный свет. Применительно к естественному свету измерения производились 05.05.2017 во второй половине дня (16:00) в следующих условиях: широта – 40° 59’ 19.70’’ с.ш., долгота – 28° 43’ 30.01’’ в.д., высота над уровнем моря – 81 м, азимутальный угол солнца – 262,50°, высота солнца над уровнем горизонта – 32,81°.

3. Результаты исследований

Результаты исследований приведены на 6 рисунках, которые позволяют провести сравнение всех источников света, использовавшихся для освещения бумаги и тканей, применительно к характеристикам отражённого от их поверхностей света. Кроме того, дополнительно представлены графики, позволяющие сравнить шероховатые и гладкие поверхности. Влияние источников света рассматривалась многими исследователями, работающими в области светокультуры и др. [12–14] Цель данного исследования заключалась в том, чтобы сопоставить характеристики света, излучаемого осветительным прибором, с характеристиками света этого прибора, отражённого от различных поверхностей. Проведённые исследования показали, что характеристики источника света существенно влияют на свет, отражённый от поверхности холодно-белого цвета.

На рис. 6 и 7 для разных источников света приведены результаты измерений доминирующей длины волны света, отражённого от имеющих разные цвета материалов: бумаги (рис. 6) и ткани (рис. 7).

На рисунках видно, что в случае источников холодно-белого света доминирующие длины волн света, отражённого от поверхностей, цвета которых лежат в диапазоне от пурпурного до зелёного, находятся в интервале 450–500 нм, тогда как в случае источников тёпло-белого света доминирующие длины волн для тех же цветов смещаются в область больших длин волн (550–600 нм). Из этого следует, что на доминирующую длину волны отражённого света (особенно при малых, не превышающих 3000 К, значениях КЦТ), тип источника света влияет сильнее, чем цвет материала.

Кроме того, из рис. 6 и 7 следует, что в среде, способной отражать свет с доминирующими длинами волн, соответствующими тёпло-белому свету и большими, освещаемый объект не влияет на доминирующую длину волны отражённого света. И можно считать, что в случаях зелёных, жёлтых и коричневых поверхностей цвет излучения и световой поток источника света слабо влияет на доминирующую длину волны отражённого от этих поверхностей света. Из результатов измерений спектров излучения

следует, что для получения результата, близкого к наблюдаемому в случае естественного света при освещении отражающих свет объектов пурпурного, розового, тёмно-синего, синего и светло-синего цвета, предпочтительнее использовать источники холодно-белого света (представленные в данной работе СДЛ мощностью 3 и 5 Вт).

На рис. 8 приведены пять графиков, соответствующих отражению излучения пяти источников света от поверхности бумаги. Как видно на рисунке, КЦТ отражённого света изменяется от 2000 до 18000 К. Аналогичные графики представлены на рис. 9 для отражения от ткани.

КЦТ отражённого света искусственных источников света сравнивали к КЦТ отражённого естественного света. Согласно полученным результатам, КЦТ света, отражённого от тёмно-синих и синих поверхностей, оказались наибольшими. Как следует из рис. 8 и 9, тип источника света не сильно влияет на КЦТ отражённого света, если цвета отражающих поверхностей лежат за пределами розово – зелёной области.

Международная комиссия по освещению в качестве меры блёскости приняла объединённый показатель дискомфорта *UGR*, который характеризует воздействие прямой блёскости светильников. С его помощью можно охарактеризовать блёскость для заданного положения наблюдателя [15]. На рис. 10 и 11 ясно видно, что для всех источников света *UGR* оказывается наибольшим в случае жёлтых поверхностей.

Для бумаги любого цвета наблюдается существенное различие между значениями *UGR* при освещении этой бумаги светом СДЛ мощностью 3 Вт и естественным светом. Аналогичная тенденция наблюдается и в случае тканей, но при этом значения *UGR*, полученные применительно к имеющим разные цвета поверхностям, не совпадают со значениями *UGR*, измеренными в случае бумаги.

Из рис. 10 и 11 также следует, что для всех источников света наименьшие, близкие друг к другу значения *UGR* имеют место в случаях пурпурных и тёмно-синих цветов, а также красных и коричневых цветов.

Задача этого исследования состояла в установлении зависимостей характеристик отражённого света как от типа отражающей поверхности, так и от источника света. Если сравнивать доминирующие длины волн света, отражённого от бумаги и ткани, то «провал» наблюдался в случае синей бумаги.

Таблица

Типы ламп

Тип лампы	Цвет света лампы	КЦТ, К	Световой поток, лм	Марка лампы
ГЛН [16]	Тёпло-белый	2700	980	*FUJIKA*
СДЛ, 3 Вт [17]	Холодно-белый	6000	240	*BENAR*
СДЛ, 5 Вт [18]	Белый	5700	350	*LAMPTIME*
СДЛ, 9 Вт [19]	Тёпло-белый	3000	900	*AKIWA*

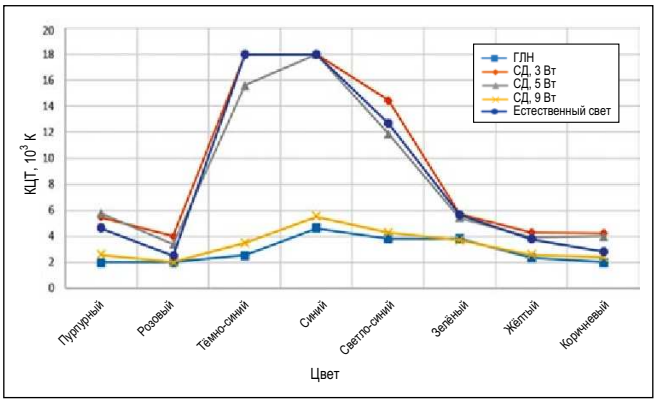


Рис. 9. Зависимость КЦТ от цвета ткани

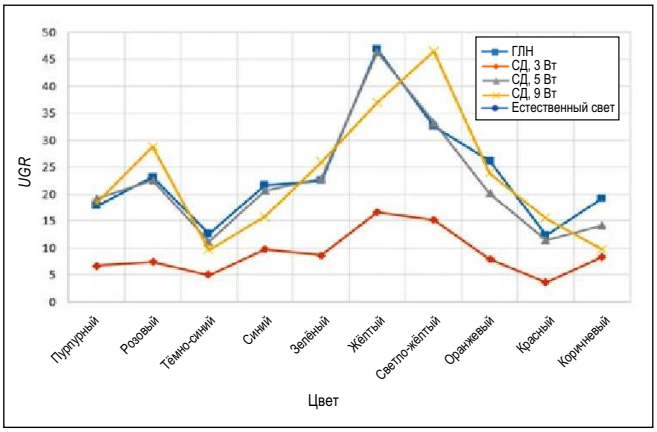


Рис. 10. Зависимость *UGR* от цвета бумаги

4. Заключение

В данной работе проведено исследование света нескольких источников света, отражённого от двух материалов – бумаги и ткани – разного цвета. Некоторые из полученных результатов приведены ниже.

Так, результаты исследований ясно показали, что зрение человека функционирует лучше, если используются источники, излучающие свет, близкий к естественному свету. Цвет отражающих свет поверхностей сильно влияет на попадающий в глаза свет, что должны учитывать и инженеры, и работники здравоохранения. Исходя из полученных нами результатов, можно утверждать, что для обеспечения возможности восприятия и выбора цвета и текстуры материалов предпочтительнее использовать белые тона.

Кроме того, в рамках этого исследования были проведены измерения изменений доминирующих длин волн (для нескольких цветов) и было обращено внимание на то, что цвет позволяет более чётко видеть и различать объекты. Сравнение схожих изделий было проведено посредством измерения доминирующих длин волн для разных источников света.

Проведённые исследования ясно показали, что лампы нового поколе-

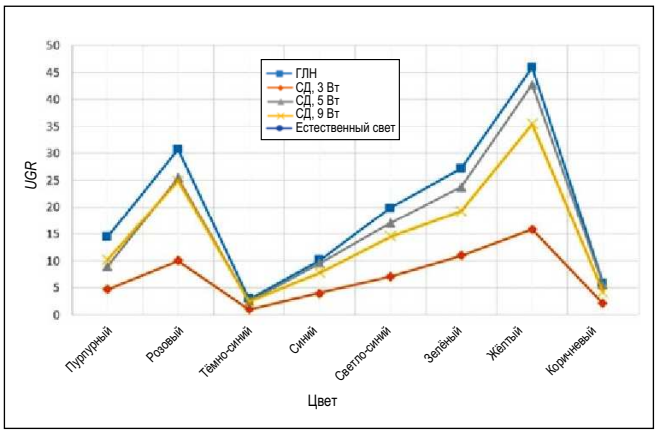


Рис. 11. Зависимость *UGR* от цвета ткани

ния обеспечивают большую чёткость зрительного восприятия, а также то, что для обеспечения оптимального восприятия имеющих разные цвета поверхностей надо тщательно выбирать осветительное оборудование на основе нескольких эксплуатационных параметров.

Эта работа финансировалась фондом научных исследований Стамбульского университета, проект № 4922/10597.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Moody, J.L., Dexter, P.* Concert Lighting: Techniques, Art And Business. – Focal Press, 2010. – ISBN – 13:978–0–240–80010–3 (hbk).

2. *Brooker, D.* Essential CG Lighting Techniques – n Routledge Imprint, 2002. – e-ISBN: 9781136134708, 2002.

3. *Çalğlarca, S.* Renk ve Armoni Kuralları. – İnkılap yay, 1993. – ISBN: 9789751005762.

4. *Duran, M.* Ergonomik Tasarımda Renk // Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 2005. – ISSN1302647X.

5. *Çeken, B, Yildiz, E.* Renklerim Reklam Algısı üzerindeki Etkisi. – 2015. – DOI: 10.7816/sed-03–02–08 sed.

6. *Ciampi, G., Rosato, A., Scorpio, M., Sibilio, S.* Basic System for the Preliminary Experimental Photometric Characterization of a LED Based Luminaire // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 47–55.

7. *Росато А., Скорпио М., Сибилио С., Чампи Дж.* Установка для измерения фотометрических характеристик ряда светильников со светодиодами // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 43–48.

8. *Ersoy Yilmaz, A.* Artificial Neural Network Modelling of Color Temperature Variations with Different Types of Armatures and Light Sources // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No.4. – P. 64–71.

9. *Ерсой Йылмаз А.* Нейросетевое моделирование зависимости цветовой температуры освещения от источника света в оптической системе светильника // Светотехника. – 2017. – № 1. – С. 49–54.

10. *Zhang, L., Li, B., Zhang, H., Kang, Y., Zhan, W., Yi W., Chen Z.* Study on the Comparison of Two Spectral Reflectance Reconstruction Methods Based on Agile Spectrum Imaging and Liquid Crystal Modulation // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25, No.2. – P. 128–138.

11. *Чжан Л., Ли, Б., ЧЖАН, Х., Кан, И., Чжань, В., И, В., Чэнь, Ч.* Сравнение двух методов реконструкции спектрального распределения коэффициента отражения // Светотехника. – 2018. – № 2. – С. 72–79.

12. *Kuzmin, V.N., Nikolaev, S.E.* Methods and Devices for Quick Evaluation of Optical Radiation Energy Efficiency under Photoculture Conditions // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 99–104.

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

14. *Wang, Z.* Analysis on the International Marketing Strategies of LED Lighting Enterprises in China // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25, No. 3. – P. 211–217.

15. CIE232:2019 Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance.

16. Fujika HALOGEN2700K, 980 lm, http://www.fujigrup.com/ampuller/halojen-ampuller/prd-fujika-42w-halojen-ampul-e27.

17. Benar LED3W 6000K, 240 lm, http://www.benaraydinlatma.com.tr/cob-smd-power-ledli-ampuller-led-ampul-3w-pid-195.html.

18. Lamptime LED5W 5700K, 350 lm, http://www.lamptime.com/tr/urun/5w-a60-e27-led-ampul.

19. Akiwa LED9W 3000K, 900 lm, http://www.akiwa.com.tr/urun/9w-e27-led-ampul.

***Фатих Аталар (Fatih Atalar)**, M. Sc. (2018 г.). Лаборант факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов: высоковольтные диэлектрики, освещение и магнетизация*

***Керим Узун (Kerim Uzun)**, B. Sc. (2017 г.). Область научных интересов: проектирование осветительных установок для зданий с нестандартной архитектурой и высоковольтные установки*

***Ахмет Гедикли (Ahmet Gedikli)**, B. Sc. (2017 г.). Область научных интересов: проектирование осветительных установок для зданий с нестандартной архитектурой и высоковольтные установки*

***Айсель Ерсой Йылмаз (Aysel Ersoy Yilmaz)**, Ph.D. (2007 г.). Доцент факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов: полимерные диэлектрики, защита электрических систем, освещение и установки внутреннего освещения*

***Мукден Уур (Mukden Uğur)**, Ph.D. (1997 г.). Профессор факультета электротехники и электроники Стамбульского университета. Область научных интересов: полимерные диэлектрики, защита электрических систем, фрактальное моделирование и статистическое рассмотрение электрического пробоя*

Исследование методов определения цветовых различий в равноконтрастной колориметрической системе *CIELAB*

В.Л. ЖБАНОВА

Филиал НИУ «МЭИ» в Смоленске, Смоленск
E-mail: vera-zhbanova@yandex.ru

Аннотация

При анализе цветных изображений возникает задача качественного определения результатов захвата этих изображений цифровыми устройствами на основе равноконтрастных колориметрических систем. В статье описаны методы определения цветового различия, рекомендованные МКО для системы *CIELAB*, рассмотрены математическое описание системы и её модификации, описана разработанная программа расчёта цветового различия по каждому из описанных методов и описано тестирование этой программы на образцах 14 цветов из атласа Манселла. В качестве объекта исследования были выбраны три группы светофильтров красного, зелёного и синего цветов по 7 светофильтров в каждой. Выбор светофильтров обусловлен возможностью их дальнейшего применения при нахождении изменения цвета цифровыми устройствами. Исследовано цветовое различие светофильтров в группах при разных стандартных источниках света и трёх методах расчёта этого различия. Проведён анализ полученных результатов и сделаны выводы о возможности применения каждого метода в разных промышленных областях. Статья может быть полезна специалистам по анализу цвета, контролю качества, цифровым устройствам и машинному зрению.

Ключевые слова: цвет, цветовой сдвиг, цветовое различие, равноконтрастная система. колориметрическая система, светофильтры, контроль качества, оценка, машинное зрение.

Введение

Определение цветовых различий по сей день актуально в светотехнике, химии, несырьевом производстве, полиграфии, колориметрии алмазов и бриллиантов и в др. областях науки и техники. МКО определила несколько равноконтрастных колориметрических систем и несколько методов нахождения параметра изменения цвета. Формулы для расчёта цветового различия позволяют использовать колориметрию в решении следующих задач: сортировка по цвету и объективная оценка устойчивости окрасок; установка объективных цветовых допусков и их проверка; осуществление высокого качества печати. Задача оценки различий по цвету не имеет общего универсального решения. Современные системы определения цвета в технике и промышленности основаны на опытах по установлению цветового равенства. Каждый потребитель использует любой предложенный метод удобный и понятный для него. Технологии производства постоянно развиваются, машинное зрение совершенствуется, но единого метода оценки качества регистрации и воспроизведения цвета пока не определено.

Подобная неопределённость рождает ряд проблем с адекватной оценкой цвета объектов в разных областях промышленности. Измерение цветовых различий позволяет объективно оценивать точность воспроизведения и предугадывать возможные ошибки. Ставится вопрос о необходимости внедрения систем управления качеством цвета и, как правило, инструментальных методов контроля цвета. Больше всего проблем возникает у пользователей современных цифровых устройств при совмещении цвета на экране с цветом, воспроизводимым реальными отражающими материалами, будь то краска, печатное издание или текстиль [1, 2].

В наши дни при объективной оценке цвета всё чаще прибегают к равноконтрастной колориметрической системе *CIELAB* (обозначается и как $L^*a^*b^*$). Эта система пользуется бóльшим спросом, чем, например, система *CIELUV* (обозначаема и как $L^*u^*v^*$), несмотря на ряд достоинств последней [3]. Относительно новая система $CIECAM_{02}$ пока ещё не применяется так широко, как названные, в силу своего сложного математического описания. Хотя сильно искривлённые линии одинакового тона в сине-фиолетовых и пурпурных цветах полностью исправлены, и в целом наблюдается более стабильное выпрямление углов тона сквозь разные уровни яркости по цветам Манселла, $CIECAM_{02}$ в сравнении с *CIELAB* требует соблюдения дополнительных условий при оценке цвета, таких как знание средней яркости визуального окружения и адаптационной яркости окружающего цветовой объект фона. Все это вызывает трудности понимания и, как следствие, применения системы пользователями.

Для системы *CIELAB*, по решениям МКО, были предложены различные формулы для расчёта цветового различия ΔE (выражается в форме евклидова расстояние между точками). Всего разработано три метода расчёта цветового различия. Каждый последующий расчёт утяжелялся всё новыми коэффициентами. Но так ли необходимо вводить новые величины, тем самым усложняя выражения? Какой метод будет эффективней и удобней для использования колориметрии, к примеру, лишь как способа анализа качества продукции?

Требовалось провести исследование трёх методов нахождения изменения цвета в равноконтрастной системе *CIELAB* и определить наиболее точный и универсальный из них. Методика настоящего исследования заключалась в математическом моделировании основных положений колориметрии, колориметрических систем и их преобразования.

Анализ методов расчёта в системе *CIELAB*

Фундамент объективной оценки цветовых различий – возможность представления цветов некими точками, являющимися концами векторов, расположенных в цветовом пространстве близко друг к другу. С увеличением евклидового расстояния между точками будут увеличиваться и различия между цветами. Это означает, что в первом приближении величину ΔE можно применять для объективной оценки уровня цветовых различий

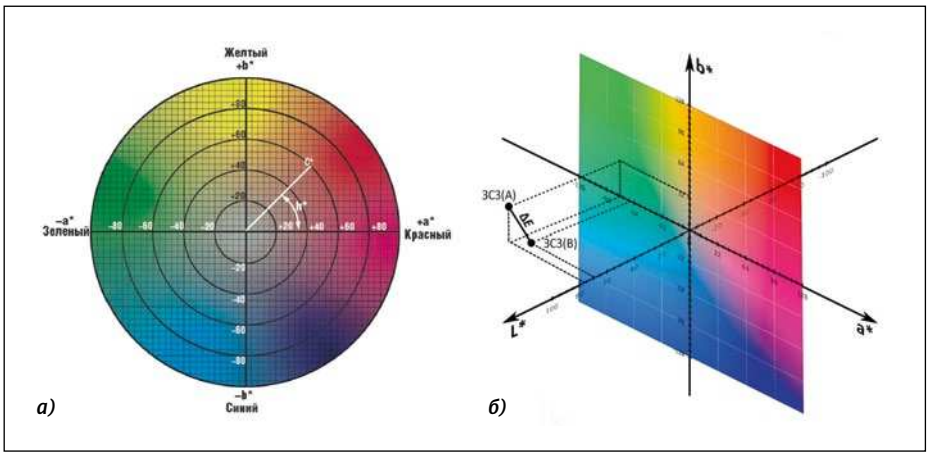


Рис. 1. Цветовое пространство *CIELAB* с полярными координатами *C* и *H* (*а*) и цветовое различие в нём светофильтра ЗС3 (представленное как евклидово расстояние) при стандартных источниках света типов *A* и *B* (*б*)

природных объектов. Пример изменения цветности объекта при освещении разными источниками (в примере, типов *A* и *B*) приведён на рис. 1.

Рассмотрим различные формулы для расчёта ΔE в системе *CIELAB*.

В 1976 г. МКО была рекомендована формула

$$\Delta E_{1976} = \left[(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2 \right]^{1/2},$$

где $\Delta a = a_1^* - a_2^*$, $\Delta b = b_1^* - b_2^*$,

$\Delta L = L_1^* - L_2^*$.

Она позволяла достаточно легко определять различия между цветами, но у неё были и свои недостатки. Система *CIELAB* является криволинейным преобразованием системы *XYZ* МКО, и потому такой подход к нахождению изменения цвета в корне неверен.

Учитывая это, МКО предложила модификацию самой системы *CIELAB – CIELCH*. При этом были предложены полярные координаты цветового тона *H* и цветности *C* (рис. 1). Координата *H* обозначается как $h°_{ab}$ и является «угловой», а координата *C* обозначается как C_{ab} и является «радиальной», относительно центра координат (оси *L**):

$$C_{ab}^* = \left(a^{*2} + b^{*2} \right)^{1/2},$$

$$h_{ab}^* = \mathrm{arctg}(b^* / a^*).$$

Подобная модификация позволила описывать цвет в этой системе как процесс представления цвета аппаратом человеческого зрения.

Поэтому для повышения точности МКО в 1994 г. утвердила новую формулу:

$$\Delta E_{1994} = \left[\left(\frac{\Delta L}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2},$$

где $\Delta L = L_1^* - L_2^*$; $\Delta C = C_1^* - C_2^*$;

$\Delta H = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 - \Delta C^2}$; $K_L = 1$, $K_C = 1$ и $K_H = 1$ (взвешивающие коэффициенты обычно равны единице, но могут и принимать определённые значения для графики, полиграфии, текстильной промышленности и т.д.),

$$S_L = 1, \quad S_C = 1 + K_1 C_{12}^*, \quad S_H = 1 + K_2 C_{12}^*,$$

$$L_{12}^* = \left(L_1^* + L_2^* \right) / 2, \; C_{12}^* = \left(C_1^* + C_2^* \right) / 2.$$

Затем формулу доработали, и в 2000 г. МКО приняла новую:

$$\Delta E_{2000} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{\Delta L}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H} \right)^2 + \\ + R_T \left(\frac{\Delta C}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H}{K_H S_H} \right) \end{array} \right]^{1/2},$$

где $\Delta H = 2\sqrt{C_1^* C_2^*} \sin\left[\frac{H_1^* - H_2^*}{2} \right]$,

$$S_L = 1 + \frac{K_2 \left(L_{12}^* - 50 \right)^2}{\sqrt{20 + \left(L_{12}^* - 50 \right)^2}},$$

$$H_{12}^* = \left(H_1^* + H_2^* \right) / 2, \; S_H = 1 + K_2 C_{12}^* T,$$

$$T = 1 - 0{,}17 \cos\left(H_{12}^* - 30° \right) + \\ + 0{,}24 \cos\left(2H_{12}^* \right) + \\ + 0{,}32 \cos\left(3H_{12}^* + 6° \right) - \\ - 0{,}20 \cos\left(4H_{12}^* - 64° \right),$$

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) R_C,$$

$$\Delta\theta = 30 \exp\left\{ -\left[\left(H_{12}^* - 275° \right) / 25 \right]^2 \right\},$$

$$R_C = 2\sqrt{\frac{C_{12}^{*\,7}}{C_{12}^{*\,7} + 25^7}}.$$

Формулы 2000 г. включают более сложные показатели насыщенности, цветового тона и светлоты, но анализ получаемого евклидова расстояния проводится как в предыдущем методе. Различия по цвету рассматриваются в связи с определением допусков, в пределах которых соблюдается цветовое равенство. Так, в цветовом пространстве *CIELAB*, специально построенном для выравнивания допусков к задаче определения цветового равенства, одинаковыми для визуального восприятия считаются цвета, отстоящие друг от друга не более чем на 1 единицу ΔE.

Разработка и тестирование программы

Для расчёта и анализа цветовых различий в системе *CIELAB* была разработана программа в среде «*MATLAB*», которая позволяет запрограммировать формулы для определения цветовых сдвигов ΔE_{1976}, ΔE_{1994} и ΔE_{2000}.

Особенностью алгоритма для построения программы является соблюдение определённого условия: если цветности образцов попадают в разные квадранты, то при расчёте следует учитывать, что при $H_{12}^* \geq 180°$ из значения этой координаты следует вычитать 360° и затем определять среднее. Также учитывается поправка к значению координаты a^*:

$$a^* = (1 + G) a_o,$$

$$G = 0{,}5 \left(\sqrt{\frac{C_{o\,12}^{*7}}{C_{o\,12}^{*7} + 25^7}} \right),$$

$$C_o^* = \sqrt{a_o^{*2} + b_o^{*2}},$$

Таблица 1

Значения Δ*E* в пространстве *CIELAB* для источников типов *A* и *B*

Δ*E*	Номер образца														Среднее Δ*E*
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
2000	12,53	18,87	51,67	33,43	42,05	85,07	28,33	17,20	2,95	18,69	18,80	11,86	14,58	54,42	29,3
1994	32,01	37,07	43,30	46,22	54,13	62,69	55,30	40,51	7,70	29,62	34,20	17,09	35,52	45,81	38,7
1976	99,99	98,06	99,11	110,74	106,86	116,43	124,59	122,41	45,57	87,26	113,72	57,53	99,90	99,93	98,7

где a_o^* и b_o^* – значения определенные при переходе от системы *XYZ* МКО к *CIELAB* с учётом координат цветности источника белого света. Последнее показывает, что координаты цветности системы уже не являются независимыми, т.к. включают коэффициент яркости источника света.

За исходные данные в процессе тестирования были приняты координаты контрольных образцов 14 цветов из атласа Манселла для оценки цветопередачи, описанных в известной методике измерений [4]. В качестве образцов были взяты цвета серо-красный, серо-жёлтый, жёлто-зелёный, светло-зелёный, светло-голубой, светло-синий, светло-фиолетовый, пурпурный, красный, жёлтый, зелёный, синий, розоватый (цвет кожи) и зелёный (цвет листьев). В качестве эталонного излучения принимался стандартный источник света. Координаты цвета в программе были пересчитаны для стандартных источников типов *A* и *B* по ГОСТ Р 55703–2013 из системы *XYZ* МКО в систему *CIELAB* по формулам

$$L^* = 116\left(Y/Y_o\right)^{1/3} - 16,$$

$$a^* = 500\left[\left(X/X_o\right)^{1/3} - \left(Y/Y_o\right)^{1/3}\right],$$

$$b^* = 200\left[\left(Y/Y_o\right)^{1/3} - \left(Z/Z_o\right)^{1/3}\right],$$

где X_o, Y_o, Z_o – координаты цвета соответствующего источника света; *X*, *Y*, *Z* – координаты цвета образца.

Расчёт цветового различия координат цвета при выбранных источниках света предоставляет возможность анализа всех трёх рассматриваемых методов МКО (табл. 1). Среднее значение ΔE_{1976} отличается от среднего значения ΔE_{1994} в 2,6 раза, среднее значение ΔE_{1976} отличается от среднего значения ΔE_{2000} в 3,4 раза, а среднее значение ΔE_{1994} отличается от среднего значения ΔE_{2000} в 1,3 раза. Евклидово расстояние между точками Δ*E* по формуле 1976 г. заметно больше, чем по формулам 1994 и 2000 гг., что было ожидаемо из-за нелинейности шкалы цветности.

При освещении разными источниками становится заметно различие, ощутимое даже визуально. Расчётные значения Δ*E* в десятки раз превышают допуски цветового равенства, вследствие чего потребуются дополнительные расчёты.

Исследование цветового различия

Для подробного анализа и оценки полученных результатов было предложено взять образцы трёх основных цветов: красного, зелёного и синего. Так как результаты работы будут применены в исследовании реального источника типа *A* и колориметрических систем, то были выбраны реальные объекты из набора цветных оптических стекол, соответствующих ГОСТ 9411–91. В дальнейшем полученные результаты будут приняты как эталонные значения при исследовании выбранных светофильтров на оптико-электронной установке. Ввиду ограниченного набора светофильтров исходными данными для исследования послужили координаты 7 светофильтров красного цвета (КС10, КС11, КС13, КС14, КС15, КС17, КС19), 7 светофильтров зелёного цвета (ЗС1, ЗС3, ЗС7, ЗС8, СЗС8, ЗС10, ЗС11) и 7 светофильтров синего цвета (СС2, СС4, СС5, СС8, СС15, СЗС9, СЗС20). Эти светофильтры и источник А представлены на цветовом графике *x*, *y* (рис. 2).

Координаты цветности этих светофильтров приведены в каталоге[1] для источников типов *A* и *B*. Поэтому последние были выбраны как основные, чтобы не привносить погрешности при пересчёте цвета для других источников света в проводимое исследование (рис. 1, *б*). Координаты цветности

[1] Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог / Под ред. проф. Г.Т. Петровского. М.: Дом оптики, 1990 г. 228 с.

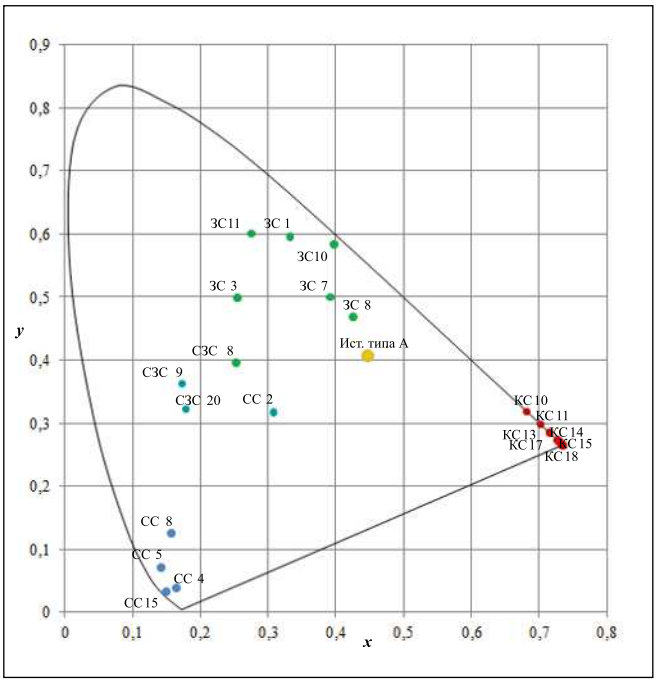


Рис. 2. Координаты исследуемых светофильтров на цветовом графике *x*, *y* при источнике типа *A*

Таблица 2

Цветовое различие красных светофильтров

Наименование светофильтра	Цветовые сдвиги			Сравнение ΔE		
	ΔE_{1976}	ΔE_{1994}	ΔE_{2000}	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{1994}$	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{2000}$	$\Delta E_{1994}/\Delta E_{2000}$
КС10	2,08	0,63	0,79	3,3	2,6	0,8
КС11	0,97	0,25	0,35	3,9	2,8	0,7
КС13	9,44	2,82	2,60	3,3	3,6	1,1
КС14	0,19	0,06	0,06	3,3	3,0	0,9
КС15	0,06	0,04	0,02	1,5	3,0	2,0
КС17	0,13	0,05	0,04	2,3	3,0	1,3
КС18	0,32	0,15	0,11	2,2	3,0	1,4
Среднее значение	1,9	0,6	0,6	3,3	3,3	1,0

Таблица 3

Цветовое различие зелёных светофильтров

Наименование светофильтра	Цветовые сдвиги			Сравнение с ΔE		
	ΔE_{1976}	ΔE_{1994}	ΔE_{2000}	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{1994}$	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{2000}$	$\Delta E_{1994}/\Delta E_{2000}$
ЗС11	20,15	7,36	6,29	2,7	3,2	1,2
ЗС7	31,93	18,02	15,97	1,8	2,0	1,1
ЗС10	14,11	5,03	7,94	2,8	1,8	0,6
СЗС8	37,78	22,87	21,89	1,7	1,7	1,0
ЗС8	31,34	18,08	20,55	1,7	1,5	0,9
ЗС3	35,53	17,82	13,07	2,0	2,7	1,4
ЗС1	20,09	7,46	8,05	2,7	2,5	0,9
Среднее значение	28	13,7	13,1	2,0	2,1	1,0

x и y следует переводить в координаты цвета XYZ по выражению

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{Y}{y}x \\ Y \\ \frac{Y}{y}(1-x-y) \end{pmatrix}.$$

Изменения координат выбранных светофильтров при освещении разными источниками света достаточно заметны в цветовом пространстве *CIELAB* (рис. 3).

В программе были определены цветовые различия каждым из рассмотренных методов для выбранных наборов красных, зелёных и синих светофильтров при двух стандартных источниках света – типов *A* и *B* (табл. 2–4). Рассчитанные значения цветового различия показывают, что отдельные образцы систематически занижают ранг различий по цвету по сравнению со средним значением, в то время как другие – постоянно завышают его.

Оценки ΔE показали, что в среднем результаты расчётов по формуле 1976 г.: 1) по группе зелёных светофильтров в 2 раза больше, чем по формулам 1994 и 2000 гг.; 2) по группе синих светофильтров больше в 2,2 и 2,6 раз, чем по формулам 1994 и 2000 гг. соответственно; 3) по группе красных светофильтров в среднем в 3,2 раза[2] больше, чем по формулам 1994 и 2000 гг. Кроме того, из таблиц, в целом, видно, что различие методов расчёта по формулам 1994 и 2000 гг. незначительно.

Заключение

Полученные расчётные данные показывают, что в отношении системы *CIELAB* не следует применять метод МКО 1976 г., который не учитывает её особенностей. Он подходит для про-

[2] Столь большое различие может быть объяснено особенностями самой системы *CIELAB*, которая несколько «растянута» в области красных оттенков и «сжата» в сине-зелёной области [3].

Таблица 4

Цветовое различие синих светофильтров

Наименование светофильтра	Цветовые сдвиги			Сравнение ΔE		
	ΔE_{1976}	ΔE_{1994}	ΔE_{2000}	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{1994}$	$\Delta E_{1976}/\Delta E_{2000}$	$\Delta E_{1994}/\Delta E_{2000}$
СС2	39,98	14,02	13,71	2,9	2,9	1,0
СС4	19,16	7,40	4,16	2,6	4,6	1,8
СЗС9	42,68	22,40	19,80	1,9	2,2	1,1
СЗС20	45,77	25,32	21,21	1,8	2,2	1,2
СС8	40,06	19,18	15,20	2,1	2,6	1,3
СС5	27,40	11,31	8,77	2,4	3,1	1,3
СС15	11,356	4,05	2,51	2,8	4,5	1,6
Среднее значение	31,6	14,9	12,5	2,1	2,5	1,2

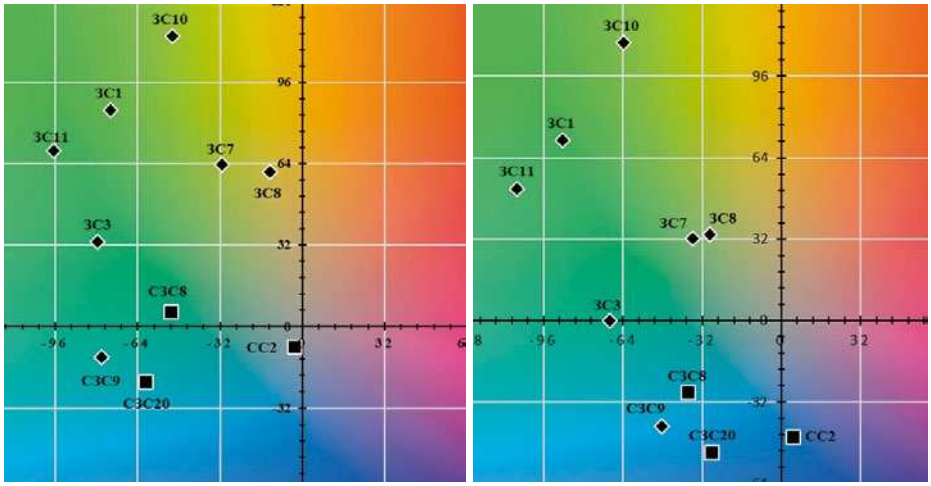


Рис. 3. Координаты исследуемых зелёных светофильтров (на срезе цветового пространства *CIELAB*), освещаемых источниками света типов *A* (*а*) и *B* (*б*)

стых систем $L^*u^*v^*$ и $W^*u^*v^*$, которые более линейны относительно *XYZ*. Этот расчётный метод даёт несколько завышенные изменения цветов, что может приводить к неверной интерпретации изменения цвета объектов.

Наиболее точен для оценки изменения цвета метод МКО 2000 г., учитывающий больше нюансов в описании цвета. Однако это необходимо там, где целью является описание самого цвета: полиграфия, колориметрия, графика и т.п., а в промышленности главная задача, решаемая с помощью колориметрических систем, – контроль качества. Определение цветового различия – одно из средств соблюдения ГОСТ и СанПиНи, и потому для контроля качества продукции более подходит метод МКО 1994 г., по результатам схожий с методом МКО 2000 г., но при этом включающий все необходимые переменные для точного расчёта и не отягощённый дополнительными параметрами и вычислениями.

Следует отдельно сказать о малонасыщенных и малоразличимых цветах. При оценке таких объектов чаще используют метод МКО 1976 г. Но ведь и в этих цветах происходит изменение угла и радиуса относительно центра координат, что также следует учитывать. Поэтому наиболее оптимален для таких цветов метод МКО 1994 г.

В дальнейшем возможно сравнение равноконтрастных систем *CIELAB* и *CIECAM*, хотя *CIELAB* уже зарекомендовала себя, как наиболее понятная и удобная в использовании система, что особенно важно для использования колориметрии как средства контроля качества и разработки продукции. Соответствующий тест по анализу цветовых различий объектов, использующихся при обработке и изменении цвета, мог бы предоставить объективную оценку качества регистрации и воспроизведения цвета современными цифровыми устройствами [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. *Домасев М.В., Гнатюк С.П.* Цвет, управление цветом, цветовые расчёты и измерения. – СПб: Питер, 2009. – 224 с.
3. *Иванов В.Е., Широких Т.В.* Сравнение равноконтрастных колориметрических систем // Светотехника. – 2014. – № 6. – С. 44–47.
4. *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.
5. *Zhbanova V.L., Nubin V.V.* A method of improving colour rendition of digital photo- and videocameras // Light & Engineering. – 2014 – Vol. 22, No. 2. – P. 84–89.

Жбанова Вера Леонидовна, *кандидат техн. наук. Окончила в 2011 г. МЭИ (Смоленский филиал). Доцент кафедры оптико-электронных систем филиала НИУ «МЭИ» в Смоленске.*

Область научных интересов: колориметрия, полупроводниковые фотопреобразователи

Анализ и стратегия проектирования зонального освещения участка «Музей Мевланы – Культурный центр “Мевлана”» в г. Конья[1]

А. ТЕРЕДЖИ[1], О. ОЗАТА

Университет им. Каратая, Конья, Турция

[1] E-mail: aysegultereci@gmail.com

Аннотация

Чтобы сделать города более удобными для проживания и чтобы выделить их особенности в ночное время следует уделять внимание не освещению отдельных зданий, а зональному освещению. Проектирование зонального освещения позволяет предотвратить световое загрязнение и обеспечивает более комфортное восприятие элементов силуэта города. Поэтому на основе результатов литературного анализа и рассмотрения этапов зональное проектирование освещения были выделены факторы, которые следует учитывать при подобном проектировании. В качестве объекта исследования был выбран потенциально привлекательный для туристов в ночное время участок «Музей Мевланы – Культурный центр “Мевлана”» в г. Конья, которую считают турецкой столицей религиозного туризма, и именно для этой зоны был разработан проект освещения. В соответствии с проектом было смоделировано освещение всей рассматриваемой зоны в целом, что позволило оценить обеспечиваемый освещением силуэт ночного города.

Ключевые слова: городской, зональное освещение, облик города.

1. Введение

Города имеют динамическую структуру, которая непрерывно развивается и изменяется как в соответствии с социально-экономическими функциями, выполняемыми городами на протяжении своей истории, так и в результате технического прогресса и политических изменений [1]. Культурные особенности, эстетические предпочтения и религиозные воззрения жителей городов можно считать важными факторами, формирующими города. Эти факторы влияют на облик города в разной степени [2]. Концепция панорамы города, исходящая из общего впечатления, которое город оставляет у людей, исходит из совокупности воспринимаемых людьми городских пейзажей, которые являются важными элементами своеобразия городов [3].

В настоящее время в результате градостроительной деятельности многие города разделены на зоны в соответствии с их потенциальными возможностями, значимостью, размерами и пространственной организацией [4]. В результате города оказываются разделёнными на зоны, выполняющие различные функции, например, на промышленные, жилые, торговые и развлекательные зоны, и именно их сочетание образует современный город [5]. И при формировании облика города необходимо выделить важные для восприятия города зоны.

Эффективное и непрерывное функционирование города зависит от его дневной жизни, тогда как очарование и привлекательность города связаны с его ночной жизнью [6]. Поэтому важно открыть для себя и понять как «дневной», так и «ночной» город. Особенно существенную роль освещение играет в формировании ночного облика города. Однако «поштучное» освещение зданий приводит к зрительной неупорядоченности [7]. Вплоть до конца 1980-х годов вместо освещения города в целом проекты предусматривали освещение отдельных мест, но затем начали разрабатывать всеобъемлющие проекты освещения [8]. Эти проекты создавались с учётом необходимости выделения уникальных особенностей городов и присущих им ценностей.

В ночное время освещение городов подчёркивает их градостроительные особенности. При этом освещение городов связано не только с удовлетворением потребности в освещении и с методами её реализации, но и включает в себя и другие моменты, связанные, например, с культурой, эстетикой, эффективностью и безопасностью [9–11]. При разработке мастер-планов освещения городов с населением, превышающим 1 млн человек, разделение на зоны является основным условием, позволяющим обозначить важные элементы, которые формируют ночной облик города. Освещение исторических мест и тех мест, в которых жизнь кипит и днём, и ночью, способствует развитию города [12]. Большое значение имеет и подчёркивание присущего определённому месту настроения и создаваемой им атмосферы. Здания, улицы и иные места, вносящие вклад в целостность восприятия той или иной зоны города, следует тщательно проанализировать, и проекты освещения этой зоны следует разрабатывать с учётом её конкретного назначения. Места, приспособленные для жизни и в дневное, и в ночное время, окажутся полезными и для экономического развития города.

В этом исследовании моменты, которые следует учитывать при проектировании освещения исторических зон, рассмотрены на примере участка «Музей Мевланы – Культурный центр “Мевлана”» (далее – комплекс «Мевлана»), который включает в себя наиболее часто посещаемый турецкий музей и многие другие исторические и культурные объекты провинции Конья, имеющей население более чем 2 млн человек и развивающейся горизонтально.

2. Факторы, которые следует учитывать при разработке зонального освещения

Окружающая среда и социальные факторы, характерные для города, имеют большое значение для его восприятия [13]. Окружающая среда делится на две группы: искусственная и естественная, тогда как социальные моменты определяются культурными, экономическими и психологическими факторами [2, 14, 15]. Так как в основе проектов и решений, связанных с освещением определённых мест, лежит формирование требуемого облика города, то следует рассмотреть все эти элементы.

При подготовке проектов освещения конкретных участков следует рас-

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

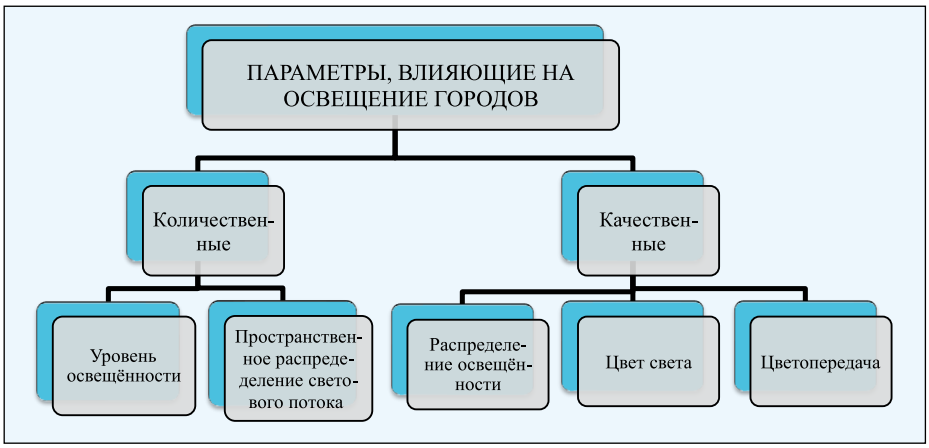


Рис. 1. Параметры, влияющие на освещение городов [17]

смотреть все факторы, которые могут повлиять на зрительный комфорт. При этом самым важным фактором является свет, который определяет наше восприятие, влияет на психологию людей и формирование требуемого восприятия. Для формирование желательного психологического воздействия и зрительного восприятия при проектировании освещения в первую очередь следует досконально изучить историю развития соответствующего места. Необходимо иметь информацию как о культурных ценностях и демографических особенностях этого места, так и о том, как оно воспринимается психологически. Это позволит произвести историческую идентификацию этого места [14], после чего следует определить, какие участки, площади и здания нуждаются в выделении освещением. Ранжирование их по степени важности и приоритетности позволит установить зрительную иерархию объектов. Аналогичным образом можно наметить основные подходы к формированию требуемой атмосферы. Другими важными элементами являются социально-экономические факторы, формирующие социальную структуру городских зон. При проведении анализа структуры рассматриваемой зоны важно учесть те моменты, которые определяют собой коммерческую активность в этой зоне и экономическую эффективность тех или иных её элементов. Места, коммерчески активные в ночное время, и их окрестности, важные для обеспечения доступа к этим местам, должны быть идентифицированы, и в соответствии с полученными результатами должны быть намечены участки, освещение которых следует обеспечить.

После проведения вышеупомянутого исследования следует обратить внимание на географическое положение рассматриваемой зоны в пределах города и идентифицировать физические условия, способные повлиять на планирование этой зоны. При принятии решения в отношении освещения зоны следует учесть как её общий потенциал, так и её важность для города. Этими факторами могут быть топография, озеленённые и водные участки, которые могут повлиять на зрительное восприятие зданий. При формировании зрительной иерархии учитывают те географические элементы, которые вносят вклад в фоновые составляющие производимого зоной впечатления. Кроме того, географические элементы следует оценивать с точки зрения их влияния на размещение осветительных приборов. Необходимо также учитывать и климатические факторы, так как климат и топография существенно влияют на формирование городов. Отмечалось, что от климата и топографии зависит текстура города, так как они определяют выбор материалов и форму строений, например, преимущественную ориентацию зданий или уклоны крыш. Это особенно заметно в исторических районах, которым свойственны присущие конкретному местоположению проектные решения [16].

Город служит важнейшим индикатором присутствия людей, и в его формировании принимают участие такие элементы искусственной среды, как здания, площади, улицы, разнообразные декоративные детали и памятники. При проектировании освещения следует принимать во внимание назначение этих элементов, окружающее их пространство и фон, а также их геометрию. Уровень освещение фасада здания следует подбирать в соответствии с его архитектурой. Следует принимать во внимание и подчёркивать освещением и назначение здание, которое очевидно для широкой публики.

Как показано на рис. 1, освещение городов описывается с использованием как количественных (уровень освещённости, пространственное распределение светового потока), так и качественных (распределение освещённости, цвет света, цветопередача) показателей [17]. При освещении здания следует иметь информацию о его окрестностях и уровнях их освещённости, так как наличие очень больших различий между освещением самого здания и его окрестностей недопустимо. Однако для обеспечения зрительного выделения объекта здание должно быть отделено от его окрестностей [7]. Поддержание на низком уровне различий в освещённостях этих двух участков положительным образом влияет на облик города. Если окрестности здания освещены, то представляющее интерес здание должно быть освещено лучше, чем другие здания, то есть выделено. Здание освещается слабо, если на передний план следует вынести расположенные за ним или окружающие его здания. Кроме того, в проектах освещения главное внимание следует уделять историческим объектам, обеспечивая при этом сохранность культурного наследия.

При проектировании освещения особое внимание следует обращать на геометрическую форму здания. Освещают фасады, которые хотят сделать заметными, и при этом обеспечивают высокие уровни освещения таких фасадов. В случаях зданий квадратной или прямоугольной формы, освещение их углов позволяет лучше проявить форму этих зданий. Цилиндрические конструкции можно освещать с трёх направлений тремя имеющими одинаковую мощность источниками света, расположенными на равных угловых расстояниях друг от друга. Если выбор точек наблюдения ограничен, то достаточно освещать эти объекты с двух направлений. При освещении конструкций разной формы выбирают наиболее важный фасад, и именно его освещают лучше всего. Кроме того, в проекте освещения следует учитывать и входы в здания или их особые элементы.

Для освещения городов используются галогенные и обычные лампы накаливания, металлогалогенные лампы, люминесцентные лампы, ртутные лампы высокого давления, натриевые лампы высокого и низкого давления. Наиболее подходящие для проектируемой осветительной установки источники света следует выбирать, исходя из их цветопередачи, коррелированной цветовой температуры и требуемого уровня освещённости [18]. Помимо этих ламп в настоящее время для освещения городов используются ещё и энергосберегающие светодиодные лампы с разными спектрами излучения. Используемые для освещения городов светильники можно разделить на четыре группы: устанавливаемые на опорах светильники, монтируемые на поверхности светильники, наружные грибовидные светильники (*mushroom luminaires*) и прожекторы заливающего света. При выборе светильников следует учитывать их энергоэффективность и качество обеспечиваемого ими освещения. При выборе светильников, которые не должны приводить к появлению блёскости, следует обращать внимание на их защитные углы.

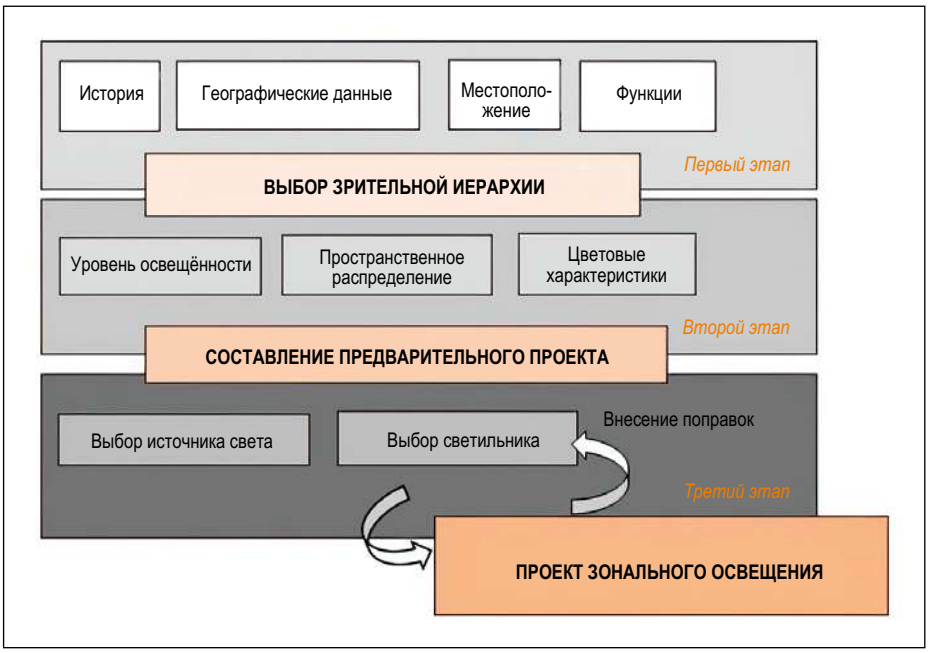


Рис. 2. Этапы проектирования зонального освещения

3. Зональный проект освещения комплекса «Мевлана» в г. Конья

С учётом вышеизложенного, проектирование зонального освещения состоит из трёх этапов (рис. 2), первым из которых является этап проведения анализа. На этом этапе рассматриваются история и географическое положение освещаемой зоны, а также её значимость для города, причём особое внимание уделяется транспортной системе и функциональной значимости этой зоны. По окончании этого анализа принимается решение относительно зрительной иерархии освещаемых объектов, а также выбираются уровни освещённости и цветовые сочетания различных участков освещаемой зоны. После этого начинается этап проектирования, на котором с учётом полученных ранее данных и нормативных требований к наружному освещению выбирают светильники и источники света.

При выборе осветительных приборов следует учитывать и места, в которых их предполагается устанавливать. По завершении предварительного проекта проводят оценочные расчёты. В данной работе использовалась программа *Dialux* [19], так как эта программа находится в свободном доступе, а светильники могут быть идентифицированы. Благодаря используемым в настоящее время компьютерным программам, на стадии проектирования можно снова и снова вводить поправки, так что наилучший результат достигается после рассмотрения большого количества вариантов. На этом этапе можно при помощи визуализации оценить формируемое пространство.

В качестве примера нами были выбраны комплекс «Мевлана» и его окрестности (рис. 3). Эта зона была выбрана потому, что благодаря своей разнообразной структуре она с наибольшей вероятностью посещается и в дневное, и в ночное время, однако при индивидуальном освещении зданий она не может полностью реализовать свой потенциал из-за светового загрязнения. Благодаря установлению иерархии освещения этой зоны предполагается сделать её более приспособленной для использования в ночное время.

Конья, история которой восходит к 7000 годам до нашей эры, была важным местом обитания для многих цивилизаций. Музей Мевланы является туристическим центром Коньи, которая была столицей Анатолийской сельджукской империи. Могильный холм Ала ад-Дина является центром плоского города, а Музей Мевланы расположен на расстоянии 1,5 км от этого участка, на котором находятся руины крепости сельджуков. 1,5-километровый участок «Музей Мевланы – Культурный центр “Мевлана”» является туристским центром и включает в себя объекты, важные для религиозного туризма. В середине этого участка проходит трамвайная линия; кроме того, с центром города он соединён магистралью. Этот участок включает в себя и важных представителей традиционных жилых зданий. Могила и Музей Мевланы, Мечеть Селимийе, Библиотека Юсуф Аги, Кладбище мучеников, Дом культуры Коньи, Мечеть Хачивейис, Центр исламской культуры и Дома Чилеби считают важными объектами этого участка. Были рассмотрены исторические и архитектурные особенности расположенных на этом участке строений, в результате чего была установлена их иерархия.

Могила Мевланы является самым важным туристическим объектом этого участка. Внутри мавзолея, которому присущи черты сельджукской культуры, имеются молельная комната, семахан (здание, в котором кружащиеся дервиши исполняют танец «сема») и фонтан, построенный в османский период. Эта находящаяся в Музее Мевланы могила, которую называют также «Зелёным куполом», является наиболее примечательным объектом, зрительным символом. Высота могилы составляет 25 м.

Классическое османское сооружение Мечеть Селимийе (мечеть султана

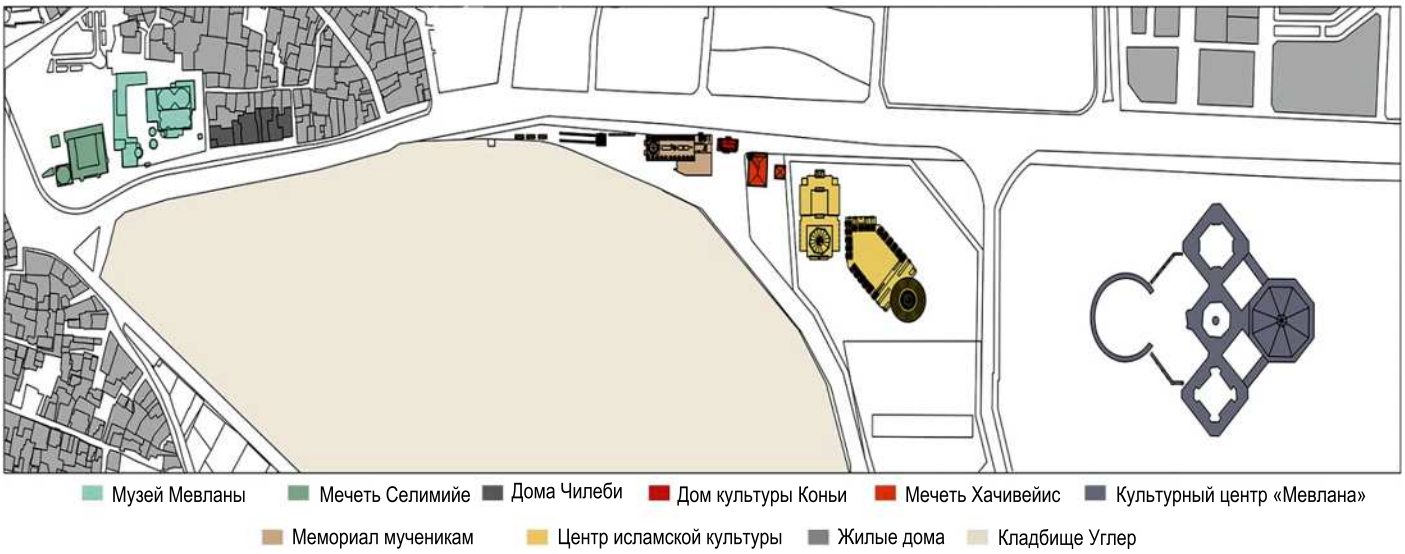


Рис. 3. Зональный план комплекса «Мевлана»

Селима) датируется 1567 годом. Она была построена из тёсаного камня. Эта мечеть размером 50 х 25 м имеет большой купол, окружённый маленькими круглыми и полукруглыми куполами. Свет в неё поступает через образующие две линии окна. Мемориал мученикам занимает площадь 5000 м^2. На входе в мемориал расположены магазины по продаже сувениров, дорога с флагами, символизирующими образованные турками государства, и купол для встречи посетителей. Дом культуры Коньи относится к периоду республики и был построен в первой половине 20 века. Первоначально он был построен как жилой дом, но после реставрации его сделали домом культуры. Это здание построено из кирпича и имеет четырёхскатную основную крышу и две комбинированные крыши, расположенные над выступами внутренней жилой зоны. Свесы крыши трёхэтажного кирпичного здания выступают на 0,5 м. Мечеть Хачивейис относится к позднему османскому периоду (19 век). Эта мечеть построена из камня, а её минарет – из гладких тёсаных камней с верхней кирпичной частью. Мечеть имеет деревянные колонны и четырёхскатную крышу, и она всё еще действует. Центр исламской культуры состоит из двух зданий: панорамы и обители Мевлеви (*Mevlevi lodge*). Известковый туф, из которого изготовлен фасад, имеет светлые и тёмные тона. При строительстве использовались традиционные для сельджукской архитектуры материалы, такие как дерево, черепица и кирпич. Этот центр имеет каменные сводчатый дверной проём с мукарнами и арочные окна. За Центром исламской культуры расположен отель «Хилтон гарден инн» – четырёхэтажное железобетонное здание, которое благодаря своей малоэтажности не портит облик этого исторического места. Культурный центр «Мевлана» расположен на расстоянии 1 км от Музея Мевланы и отделён от него центром исламской культуры. В состав Культурного центра «Мевлана» площадью 108 тыс. м^2 входят фойе, выставочные залы, кафетерии, библиотека, исследовательский центр, конгресс-холл и концертный зал [20].

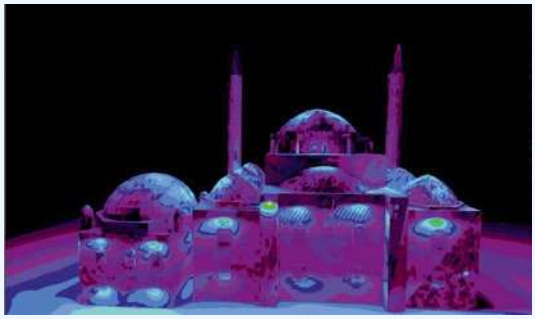
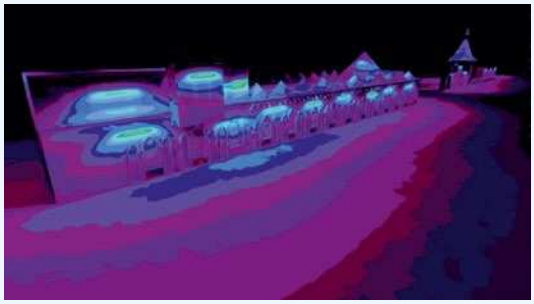
Рис. 4. Визуализация результатов комплексного моделирования спроектированного зонального освещения при наблюдении со стороны улицы

4. Предлагаемый проект освещения комплекса «Мевлана» в г. Конья

В иерархии освещения рассматриваемого участка историческая мечеть Селимийе стоит на втором месте после Музея Мевланы. За Мечетью Селимийе в порядке убывания культурной ценности следуют Мемориал мученикам, Центр исламской культуры и Культурный центр «Мевлана». На следующей ступени находятся Мечеть Хачивейис и Дом культуры. При осуществляемом в соответствии с этой иерархией освещении расположенных на главной улице зданий в качестве базы использовался уровень освещённости, достаточный для освещения трамвайной линии и само́й главной улицы. Что касается расположенного напротив Музея Мевланы исторического кладбища, то его освещение осуществляется прожекторами, расположенными на ограде, что позволяет обозначить границы кладбища, не проникая внутрь его. Прожекторы, расположенные на внутренней

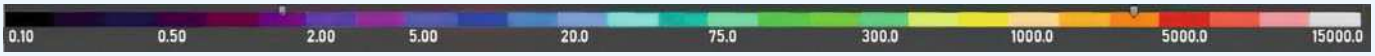
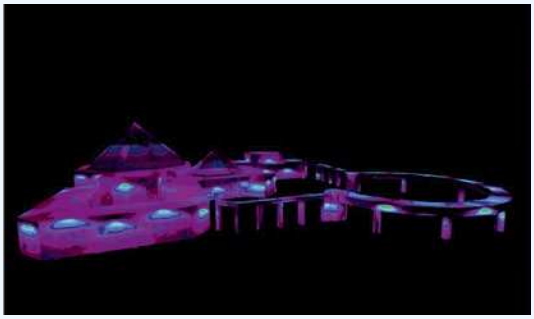
Таблица 1

Выбор и визуализация освещения зданий

	Выбор освещения	Визуализация
Музей Мевланы	• СД мощностью 10 Вт под куполами. • Светильники с СД мощностью 12 Вт на зелёном куполе. • Прожекторы мощностью 30 Вт с углом излучения 180°, освещающие наружные стены. • Прожекторы мощностью 100 Вт с углом излучения 30°, расположенные на земле для освещения фасада. • Прожекторы мощностью 200 Вт для освещения входной двери. • Прожекторы мощностью 150 Вт для освещения верхних участков крыши.	
Мечеть Селимийе	• 4 светильника наружного освещения типа «спотлайт» мощностью 200 Вт, расположенные на земле для освещения главного фасада, 2 светильника наружного освещения типа «спотлайт» мощностью 150 Вт для освещения боковых фасадов. • Прожекторы мощностью 100 Вт с углом излучения 30° для освещения больших и высоких куполов; прожекторы мощностью 50, 20 и 40 Вт для освещения, соответственно, средних, маленьких и полукруглых куполов. • 3 прожектора мощностью 10 Вт с углом излучения 45° для освещения боковых поверхностей имеющих средние размеры куполов; 3 светильника мощностью 25 Вт для освещения минарета.	
Мемориал мученикам	• Прожекторы мощностью 100 Вт с углом излучения 30°, расположенные вдоль фасада для его освещения. • Светильники мощностью 100 Вт с углом излучения 180°, расположенные на полу для освещения флагов. • 8 прожекторов мощностью 50 Вт с углом излучения 45° для освещения купола входной зоны, СД мощностью 8 Вт, расположенные вокруг верхней части купола. • Светильники мощностью 20 Вт, размещённые внутри купола для освещения прохода. • Прожекторы мощностью 150 Вт с углом излучения 45°, расположенные на полу для освещения входного прохода. • 8 прожекторов мощностью 50 Вт, расположенные под углом 30° вокруг большого восьмигранного купола на крыше; прожекторы мощностью 10 Вт, расположенные под равными углами с трёх сторон маленьких куполов.	
Центр исламской культуры	• 2 прожектора мощностью 100 Вт с углом излучения 45° для освещения входной двери; 2 прожекторы мощностью 70 Вт для освещения главного фасада; прожекторы мощностью 60 Вт, установленные перед окнами на боковых фасадах. • Прожекторы мощностью 5 Вт с углом излучения 45° для освещения с трёх сторон маленьких куполов на крыше. • СД мощностью 10 Вт, расположенные на крыше для освещения верхней части конференц-зала. • Светильники мощностью 25 Вт, расположенные под на основании крыши в форме звезды; 1 прожектор мощностью 50 Вт, расположенный на основании крыши.	

стороне ограды, освещают границу кладбища, так что его наличие заметно и в ночное время. При проектировании освещения рассматриваемого участка в первую очередь выбирается наиболее подходящий для фасадов зданий цвет освещения. Для того, чтобы результат не отличался от наблюдаемого в дневное время, элементы фасадов и крыш освещаются наиболее заметным образом. А чтобы в ночное время сделать определённые элементы столь же видимыми и заметными, как и в дневное время, освещением выделяются как элементы крыш, такие как купола и минареты, так и элементы фасадов, такие как колонны, свесы, карнизы, эркерные окна и орнаменты. Для выделения входов в здания их освещают сильнее. В результате этого рассмотрения были разработаны проектные решения, который вместе с соответствующей визуализацией представлены в таблице.

Окончание табл. 1

	Выбор освещения	Визуализация
		
Культурный центр «Мевлана»	• СД мощностью 5 Вт, расположенные вокруг стеклянной крыши в точках перелома. • Прожекторы мощностью 200 Вт с углом излучения 45°, расположенные на крыше для освещения цилиндрического объёма. • Прожекторы мощностью 200 Вт с углом излучения 30° для освещения фасадов. • Прожекторы мощностью 200 Вт, расположенные на вершинах колонн на входе и направленные вниз под углом 30°. • Источник света мощностью 250 Вт с углом излучения 45° для освещения фасада с входной дверью.	
Мечеть Хачивейис и Дом культуры	• Прожекторы мощностью 150 Вт с углом излучения 30° для освещения фасада мечети. • СД мощностью 5 Вт для освещения полуоткрытого входа; СД мощностью 5 Вт, укрытые в парапете фонтана. • Прожекторы мощностью 25 Вт с углом излучения 30° для освещения минарета с трёх сторон. • Прожектор мощностью 50 Вт с углом излучения 45° для освещения фасада, расположенного под минаретом. • Прожекторы мощностью 150 Вт с углом излучения 30° для освещения фасадов Дома культуры • СД мощностью 5 Вт, расположенные на свесах крыши для освещения поверхности фасада сверху вниз.	

Разработанный проект освещения Музея Мевланы предусматривает минимальный уровень освещения фона, более высокий уровень освещения окрестностей главного здания и наибольший уровень освещения самого́ главного здания. Это позволяет сформировать целостное восприятие здания и его окружения. При этом наиболее сильно освещены границы и входные двери музея. Если посмотреть на Музей Мевланы, то наиболее впечатляющим элементом является его зелёный купол, который принят в качестве символа города, и в ночное время внимание должен в первую очередь привлекать тот же элемент, который привлекает внимание в дневное время. Моделирование в программе *Dialux* показало, что уровень освещённости купола можно увеличить до 75 лк. Средний уровень освещённости минаретов оказался равным примерно 20 лк, а освещённость на поверхностях фасадов лежит в пределах от 30 до 50 лк. Что касается наружных стен, обозначающих границы музея, то на них освещённость оказалась равной 10 лк.

В случае Мечети Селимийе следует обеспечить высокую освещённость как купола, так и поверхности фасада. Однако так как эта мечеть примыкает к Музею Мевланы, то её освещённость не должна превышать освещённость этого музея. В проекте освещения Мечети Селимийе предусмотрено, что элементы, расположенные выше человеческого роста, такие как купола и минареты, не теряются в темноте и вполне заметны. При размещении осветительных приборов необходимо не допускать повреждения исторических фасадов. Согласно результатам моделирования, средний уровень освещённости куполов мечети Селимийе составляет примерно 10 лк при равной 30 лк освещённости главного фасада. В случае боковых фасадов освещённость уменьшается до 5 лк. Освещённость высоких минаретов равна 3–5 лк, что не приводит к нагрузке на зрение.

Сувенирные магазины перед Мемориалом мученикам сделаны видимыми и в ночное время. Чтобы выделить флаги и сделать их более высокими и строгими, их освещают снизу вверх. В проекте освещения уделяется внимание и форме крыши и входной двери. В случае мемориала мученикам освещённость малых куполов лежит в пределах от 7,5 до 10 лк, а освещённость большого купола – в пределах от 10 до 20 лк. На поверхностях фасадов освещённость достигает уровня 30 лк.

Что касается Центра исламской культуры, то проект его освещения обеспечивает соответствие освещения культурным особенностям здания. Фасады и окна делают видимыми при помощи осветительных приборов, углубляемых в землю через определённые интервалы. Освещение выделяет и подчёркивает входы. Оно предназначено улучшить восприятие входов в ночное время посредством использования светодиодов, расположенных в дверных проёмах и во внутренних помещениях для встречи посетителей. Освещение крыши обеспечивает возможность восприятия как деталей крыши, так и звёзд. В то время, как средняя освещённость переднего фасада составляет примерно 20 лк, освещённость боковых фасадов не превышает 7,5 лк. Освещённость крыши изменяется в диапазоне от 3 до 7,5 лк.

Проект освещения Культурного центра «Мевлана» предусматривает обеспечение видимости конусообразной крыши, входа и фасадов и выделение пешеходных участков. При этом наибольшая, равная 30 лк, освещённость создаётся на выходящем на дорогу фасаде. Освещённость на конусообразной крыше лежит в пределах

от 5 до 10 лк. Отдалённые от дороги элементы здания освещены слабее, чем обращённые в сторону дороги элементы.

Что касается освещения Мечети Хачивейис, то освещённость её простых и плоских фасадов удерживается на низком уровне. Главное внимание уделяется обеспечению видимости крыши, минаретов и фонтана этой мечети. Этот же подход применён в отношении Дома культуры. В результате, средние освещённости фасадов Мечети Хачивейис и дома культуры лежат в пределах от 5 до 7, 5 лк, а освещённости купола и балкона минарета составляют, соответственно, 3 и 7,5 лк. Визуализация результатов комплексного моделирования освещения при наблюдении со стороны дороги приведена в таблице.

В данной работе при помощи моделирования были проведены комплексные исследования и оценка зонального освещения. Приведённые на рис. 4 изображения соответствуют окончательному варианту проекта, которому предшествовали многочисленные промежуточные варианты.

5. Результаты

После составления мастер-планов освещения городов следует подготовить проекты зонального освещения, которые разрабатываются применительно к освещению и зданий, и их окрестностей, а не только самих зданий. Для исторических или культурных центров следует установить иерархию освещаемых объектов. При принятии решений относительно зонального освещения наряду со зданиями следует учитывать и общественный транспорт. Освещение подобных мест должно удовлетворять требованиям стандартов на освещение дорог.

Здесь в качестве объектов исследования были выбраны Музей Мевланы и культурный центр г. Коньи, являющиеся основными туристическими объектами города, и применительно к ним был разработан проект освещения, который будет способствовать дальнейшему развитию города. Были разработаны комплексные предложения, отличающиеся от прежнего подхода к освещению, состоящего в неупорядоченном освещении улиц и зданий и приводящего к световому загрязнению. Для того, чтобы обеспечить такое же, как и днём, восприятие, при освещении элементов фасадов зданий просто имитировали их естественное освещение, что увеличит положительный вклад этих формирующих «Культурную долину» объектов в облик города.

Одна из основных причин, по которым подобные комплексные подходы к освещению городов не применяются, заключается в том, что освещаемые объекты находятся под юрисдикцией разных юридических и физических лиц, и их освещение не оценивается с точки зрения выявления индивидуальных особенностей города. Муниципалитету следует изучить конкретные районы города и установить предельные уровни освещения зданий, и при этом следует понимать, что освещение городов нельзя сводить к освещению одних только улиц – необходим комплексный подход к освещению. Затем владельцы зданий должны представить в муниципалитет проекты освещения своих зданий и согласовать их. Проекты освещения должны входить в планы перестройки улиц в качестве их важных составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Keleş, R.* Kentleşme Politikası. – Ankara: Imge Kitapevi, 1990.
2. *Lynch, K.* The Image of the City. – Cambridge, MA: MIT Press, 1960.
3. *Bilsel, F., Bilsel, S., Bilsel, A.* (1999). Kuramsal Yaklaşımlardan Kentsel Mekan Tasarımına // 1. Ulusal Kentsel Tasarım Kongresi «Kentsel Tasarım Bir Tasarımlar Bütünü», 1999, İstanbul: M.S.Ü.
4. *Tekeli, İ.* Türkiyede kent- bölgeleri üzerine düşünmek. İ. Tekeli içinde, Kent, Kentli Hakları, Kentleşme ve Kentsel Dönüşüm. – Istanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları. – P. 133–154.
5. *Le Corbusier.* Urbanisme. – Paris: Éditions Crès, Collection de «L'Esprit Nouveau», 1924.
6. *Tekeli, İ.* Gecenin İstanbulu. İ. Tekeli içinde, Kent, Kentli Hakları, Kentleşme ve Kentsel Dönüşüm. – İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları, 2011. – P. 155–162.
7. *Davoudian, N.* (2011). Visual saliency of urban objects at night: Impact of the density of background light patterns // LEUKOS. – 2011. – Vol. 8, No. 2. – P. 137–152.
8. *Ritter, J.* Master Planlar – Durum Değerlendirmesi // *Professional Lighting Design Türkiye*. – 2006. – P. 56–61.
9. *Mockey Coureaux, I., Manzano, E.* The energy impact of luminaire depreciation on urban lighting // Energy for Sustainable Development. – 2013. – Vol. 17, No. 4. – P. 357–362.
10. *Peña-García, A., Hurtado, A., Aguilar-Luzón, M.* Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being // Safety Science. – 2015. – Vol. 78, No. 10. – P. 142–148.
11. *Beccali, M., Bonomolo, M., Leccese, F., Lista, D., Salvadori, G.* On the impact of safety requirements, energy prices and investment costs in street lighting refurbishment design // Energy. – 2018. – Vol. 165, Part B, No. 12. – P. 739–759.
12. *Cucchiella, F., De Berardinis, P., Lenny Koh, S., Rotilio, M.* Planning restoration of a historical landscape: A case study for integrating a sustainable street lighting system with conservation of historical values // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 165, No. 11. – P. 579–588.
13. *Relph, E.* Place and Placelessness. – London, UK: Pion, 1976.
14. *Beyhan, Ş., Çelebi Gürkan, Ü.* (2015). Analyzıng The Relatıonshıp Between Urban Identıty And Urban Transformatıon Implementatıons In Hıstorıcal Process: The Case Of Isparta // International Journal of Architectural Research. – 2015. – Vol. 9, No. 1. – P. 158–180.
15. *Saban Ökesli, D., Gürçınar, Y.* An investigation of urban image and identity // Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. – 2012. – P. 37–52.
16. *Topçu, K.* Kent kimliği üzerine bir araştırma: Konya örneği. Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi. – 2011. – P. 1048–1072
17. *Bianchi, C., Moroldo, H., Burlacu, C., Paut, I.* (2001). Researches Regarding The Urban Luminous Environment, From The Functional and Esthetical Points of View // Proc. Lighting and City Beautification Congress, 2001, Istanbul. – P. 50–57.
18. *Ganslandt, R., Hofmann, H.* Handbuch der Lichtplanung. – Germany: Vieweg+Teubner Verlag, 1992.
19. DIALux: http://www.dial.de/ adresinden alınmıştır.
20. Konya Büyük Şehir Belediyesi. Konya İl Merkezi Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Envanteri Konya, 2010.

Айшегюль Тереджи (Ayşegül Tereci), *Ph.D. Сотрудник архитектурного факультета Университета им. Каратая, Конья, Турция. Область научных интересов: проектирование энергоэффективных зданий и городов*

Озге Озата (Özge Özata), *M. Sc. Место работы – муниципалитет района Yesilyurt г. Малатьи, Турция*

Неопределённость характеристик естественного освещения при использовании регулируемых вручную солнцезащитных устройств и её влияние на расходуемую на освещение энергию[1]

Ц. ЯО[1], Л.И. ЧЭНЬ, У. ЦЗИНЬ

Университет г. Нинбо, Нинбо, Китай

[1] E-mail: yaojian@nbu.edu.cn

Аннотация

Поведение пользователей помещений существенным образом влияет на энергопотребление зданий. В статье рассмотрена неопределённость характеристик естественного освещения и расходуемой на освещение энергии при использовании регулируемых вручную солнцезащитных устройств (СЗУ), установленных на южном фасаде здания. Стохастическая модель, разработанная для регулируемых вручную СЗУ, была использована для проведения совместного моделирования при помощи компьютерной программы *BCVTB*. Полученные результаты говорят о том, что неопределённость результатов работы СЗУ не была исключена при использовании модели работы СЗУ с очень слабой взаимосвязью между результатами различных циклов моделирования. Неопределённость характеристик естественного освещения составила 15,08 %, тогда как неопределённость расходуемой на освещение энергии оказалась равной 10,38 %. Хотя подобная неопределённость расхода энергии не очень существенна, она всё же влияет на результаты экономического анализа регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности этих СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать.

Ключевые слова: регулируемые вручную солнцезащитные устройства, неопределённость, характеристики естественного освещения, расходуемая на освещение энергия.

1. Введение

Солнцезащитные устройства (СЗУ) можно использовать для управления поступающей в здание энергией солнечного излучения, регулирования уровня естественной освещённости в помещении и исключения блёскости и больших контрастов [1]. Для борьбы с нежелательным солнечным излучением в летний период в строительстве часто используются фиксированные СЗУ, такие как горизонтальные навесы или вертикальные ребристые выступы. Однако они задерживают и значительное количество прямого и отражённого дневного света и неэффективны в условиях облачного неба. В то же время, нефиксированные СЗУ можно регулировать в соответствии с изменяющимися наружными условиями. Поэтому в зданиях часто используются нефиксированные СЗУ, как регулируемые вручную, так и контролируемые автоматизированной системой управления здания. Но несмотря на то, что автоматизированные системы управления СЗУ обеспечивают высокоэффективный контроль нагрева помещения, естественного освещения и блёскости, присущие им высокие капитальные и эксплуатационные затраты всё ещё препятствуют их широкому распространению в районах Китая с жарким летом и холодной зимой. Поэтому регулируемые вручную рулонные СЗУ широко используются в Китае, особенно в остеклённых зданиях [2].

Регулируемые вручную СЗУ рассчитаны на управление пользователями помещений (далее – пользователи), и при прогнозировании их влияния на естественную освещённость и поступление энергии следует учитывать поведенческие характеристики людей, так как результаты проведённых исследований показали, что на потребляемую зданием энергию влияет не только технические моменты, но и культурные аспекты, поведение людей, социальная среда и т.д. Накопленный опыт говорит о том, что полное энергопотребление существенно зависит от поведения пользователей [3]. Например, в [4] приведены численные оценки и результаты сенситивного анализа энергопотребления шести французских промышленных зданий. Было установлено, что рассчитанные значения энергии, расходуемой на отопление и охлаждение, были скорее чувствительны к параметрам, связанным с использованием здания, чем к параметрам, связанным с наружной оболочкой здания. Проведённые в последние годы исследования в области строительства продемонстриро-

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

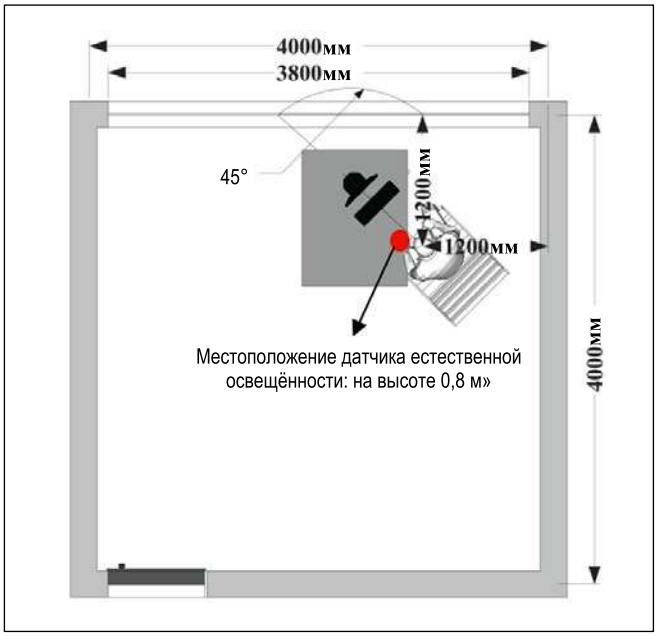


Рис. 1. Модель помещения с указанием рабочего места (юг расположен вверху рисунка)

вали различия между реальной и прогнозируемой энергоэффективностью зданий. Некоторые из этих различий обусловлены поведением пользователей [5]. В [6] приведены количественные оценки влияния поведения пользователей на энергопотребление зданий. Различные модели поведения пользователей были включены в программу *CitySim*, моделирующую потребление энергии в городах. Полученные результаты говорят о том, что поведение пользователей оказывает существенное (вплоть до двукратного) влияние на энергопотребление зданий.

Хотя некоторые исследователи и говорили о влиянии поведения пользователей (при применении регулируемых вручную СЗУ) на энергопотребление [7, 8], использовавшиеся в этих работах модели штор неприменимы к регулируемым вручную СЗУ с возможностью частичной солнцезащиты (в современных исследованиях рассматриваются либо два состояния штор (полностью открытые или полностью закрытые), либо необычные СЗУ с механизированным управлением). Например, в [9] для рассмотрения энергопотребления здания была использована модель *Lightswitch-2002*, которая, однако, применима только для прогнозирования расхода энергии на освещение, тогда как неопределённость естественного освещения вследствие зависящего от действий потребителей влияния штор в этой модели учесть невозможно. Более того, из-за различий в типах СЗУ и поведенческих характеристиках результаты этих исследований нельзя непосредственно распространить на функционирование зданий в районах Китая с жарким летом и холодной зимой.

Для анализа влияния неопределённости осуществляемого пользователями регулирования СЗУ на энергоэффективность зданий в данной работе используется стохастическая модель, разработанная на основе результатов полевых исследований, проведённых применительно к выходящему на запад фасаду [2]. Ранее уже были проведены исследования в части экономии энергии по сравнению с обычными окнами, теплового режима [10], естественного освещения [11, 12] и выполнения зрительной работы [13]. Данная работа, являющаяся развитием проведённых ранее исследований, посвящена влиянию неопределённости поведения пользователей на работу СЗУ и, как следствие, на естественное внутреннее освещение и расходуемую на искусственное освещение энергию.

Таблица 1

Описание офисного помещения

Параметр	Описание
Местоположение	Г. Нинбо, Китай, 30° с.ш., 121° в.д.
Ориентация помещения	Юг
Размеры, м	Помещение: 4×4×3. Окно: 3,8×2,8.
Окно и СЗУ	Прозрачное окно с двойным остеклением + управляемое вручную наружное СЗУ, представляющее собой разворачиваемую сверху вниз белую рулонную штору из полиэфира (30 %) и поливинилхлорида (70 %) с коэффициентом пропускания 0,2.
Местоположение датчика естественной освещённости	Красная точка на рис. 1.
Использование естественного света	Время, на протяжении которого полезная естественная освещённость лежит в интервале 300–2000 лк [11, 12].
Расходуемая на освещение энергия, Вт/м^2	11 (при естественной освещённости, меньшей чем 300 лк)

2. Методика

2.1. Стохастическая модель регулируемых вручную СЗУ

В данной работе рассматривается типичное офисное помещение размером 4x4x3 м с выходящим на юг окном (рис. 1). Характеристики этого офисного помещения, включая регулируемое вручную СЗУ, и местоположение датчика естественной освещённости приведены в табл. 1.

Для исследования влияния неопределённости поведения пользователей на работу СЗУ и, как следствие, на естественное освещение и расходуемую на освещение энергию здесь используется разработанная одним из авторов стохастическая модель [2]. Эта модель была разработана на основе результатов полевых исследований типичного многоэтажного остеклённого здания, расположенного в районе Китая с жарким летом и холодной зимой. В этой модели обусловленные стохастическим поведением пользователей состояния СЗУ были разделены на 5 категорий: полное затенение, затенение на 75 %, затенение на 50 %, затенение на 25 % и отсутствие затенения. Соответствующие коэффициенты наружного затенения (КЗ) (*external shading coefficient*) были равны 0; 0,25; 0,5; 0,75 и 1. Регулирование СЗУ прогнозировалось на основе текущего состояния СЗУ и создаваемой солнечным светом освещённости на фасаде здания, которая согласно результатам, полученным посредством логистического регрессивного анализа накопленных различий (*cumulative odds logit regression*), является основным фактором. Прогнозирование осуществлялось методом дискретных цепей Маркова 1-го и 2-го порядков, который позволяет сформировать переходную матрицу цепи Маркова (матрицу вероятности перехода СЗУ из текущего состояния в следующее) для работы совместно с программой *EnergyPlus*. Краткое пояснение формирования этой стохастической модели и проведения совместного моделирования приведено на рис. 2. Более подробную информацию об этой стохастической модели и о совместном моделировании можно найти в [2].

2.2. Показатель неопределённости

2.2.1 Регулирование СЗУ

В данной работе неопределённость соотносят со связанной с поведением пользователей стохастической регулировкой СЗУ, которая приводит к зависимости значений КЗ от конкретного пользователя и, в конце концов, к неопределённости энергопотребления здания. Показатель неопределённости используется для оценки взаимосвязи между двумя переменными (в данном случае, между соответствующими двум различным циклам мо-

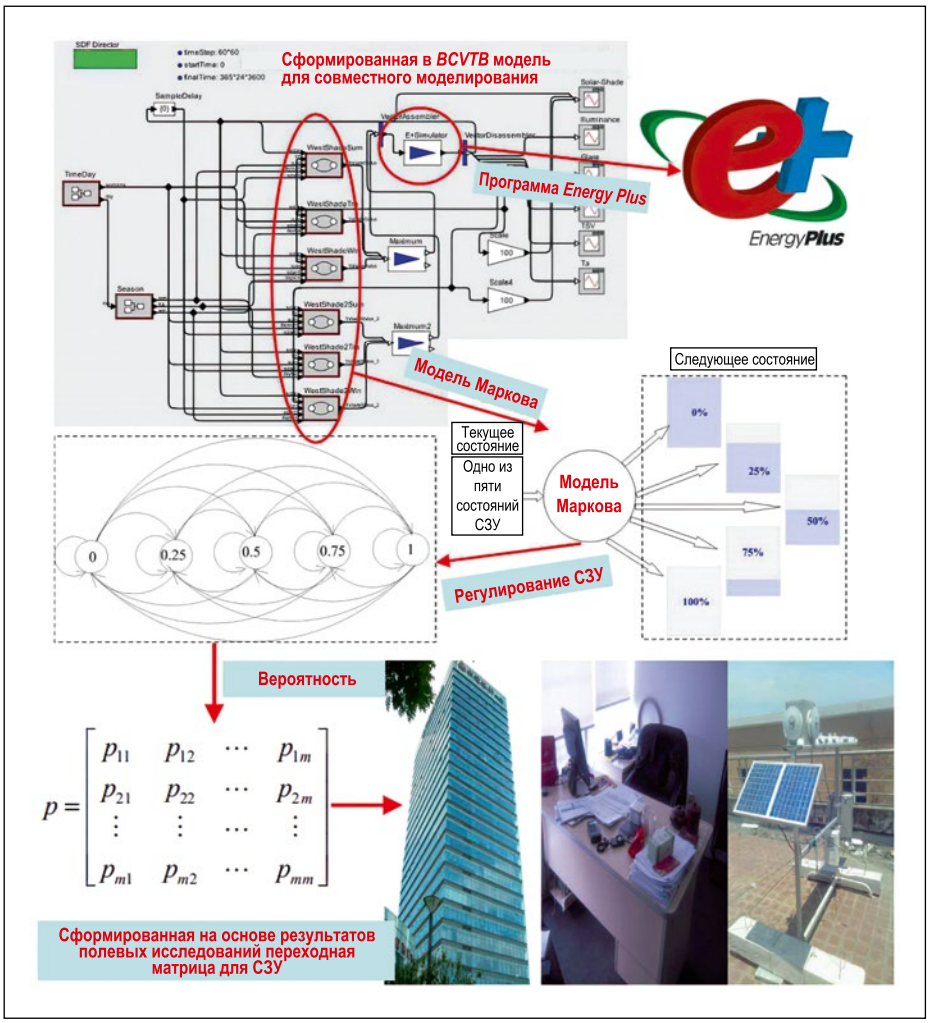


Рис. 2. Графическое представление разработанной модели для проведения совместного моделирования влияния СЗУ на естественное освещение

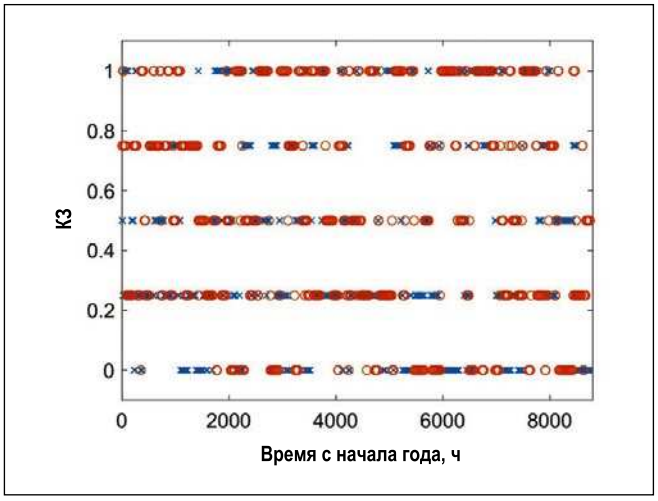


Рис. 3. Годичные почасовые значения КЗ, полученные в рамках циклов моделирования *N1* (обозначены символом «о») и *N2* (обозначены символом «х»)

делирования почасовыми значениями КЗ) и представляет собой коэффициент корреляции, который лежит в интервале между +1 и –1. Равное +1 значение показателя неопределённости соответствует полной положительной корреляции между двумя переменными, тогда как значение –1 соответствует полной отрицательной корреляции, а значение 0 говорит об отсутствии линейной корреляции. Так как в данной работе значения КЗ являются дискретными и порядковыми, то используется непараметрический критерий – коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Корреляционный анализ по Спирмену не предусматривает каких бы то ни было допущений относительно распределения данных и поэтому подходит для проведения корреляционного анализа значений КЗ.

2.2.2. Естественное освещение и расходуемая на освещение энергия

Применительно к неопределённости естественного освещения и расходуемой на освещение энергии для аппроксимации полученных данных использовалась плотность распределения вероятности. В данной работе распределение данных считали нормальным, что подтверждается результатами последующего анализа, и, соответственно, использовали совокупность двухпараметрических кривых. Первым параметром является среднее значение (μ), а вторым – среднеквадратическое отклонение (σ). Нормальная плотность распределения вероятности для энергетических показателей $f(x)$ можно записать, как:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (1)$$

При помощи упомянутой выше аппроксимации (*fitting analysis*) можно получить распределение продолжительности полезной естественной освещённости (ПЕО), а затем, исходя из свойств нормального распределения, можно рассчитать 95-процентный доверительный интервал (*CI*) для неопределённости естественного освещения (продолжительности ПЕО):

$$CI = \bar{X} \pm t_{n-1,\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где $\bar{X}$ – усреднённый по циклам результат моделирования, n – количество циклов моделирования, $t_{n-1,\alpha/2}$ – значение, полученное применительно к t-распределению Стьюдента с $(n-1)$ степенями свободы и уровнем значимости $\alpha/2$. В данной работе уровень значимости α принят равным 5 %. Это означает, что истинное среднее значение находится в пределах доверительного интервала *CI* с вероятностью 95 %. Для того, чтобы оперировать не абсолютным, а относительным значением неопределённости, величина *CI* была разделена на среднее значение.

2.3. Количество циклов моделирования

Так как моделирование энергопотребления, в основу которого положена поведенческая модель работы СЗУ, приводит к разным результатам, то для понимания возможного распределения выходных параметров требуется многократное повторение циклов моделирования. Как отмечалось в [14], дополнительное время, затрачиваемое на повторное моделирование, можно считать слабым местом используемого метода. В данной статье проводится расчёт минимального количества циклов моделирования, требующегося для получения сходящегося решения в рамках графического метода, который был рекомендован в [15]. Этот графический метод предусматривает построение зависимости среднего значения полученных данных от количества циклов моделирования, которая в конце концов становится горизонтальной линией. Требуемое количество циклов моделирования соответствует точке, в которой график становится плоским. Посредством описанного выше анализа можно рассчитать как неопределённость характеристик естественного освещения (применительно к продолжительности ПЕО, так как этот показатель имеет большое значение для оценки естественного освещения [11, 12]), так и количества расходуемой на освещение энергии.

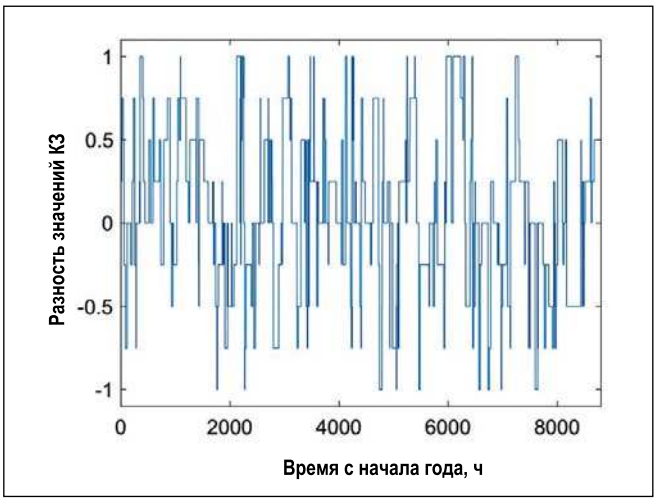


Рис. 4. Годичные почасовые разности значений КЗ, полученных в рамках двух циклов моделированиях

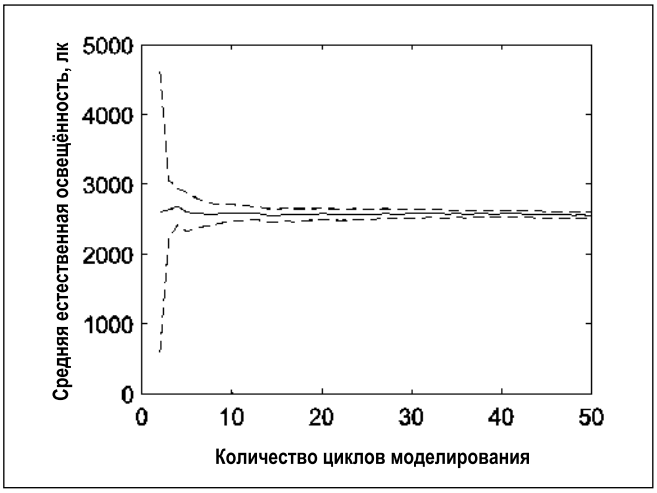


Рис. 5. Сходимость среднегодовых значений естественной освещённости. Сплошная линия соответствует средним значениям, а штриховые линии ограничивают 95 % доверительную область

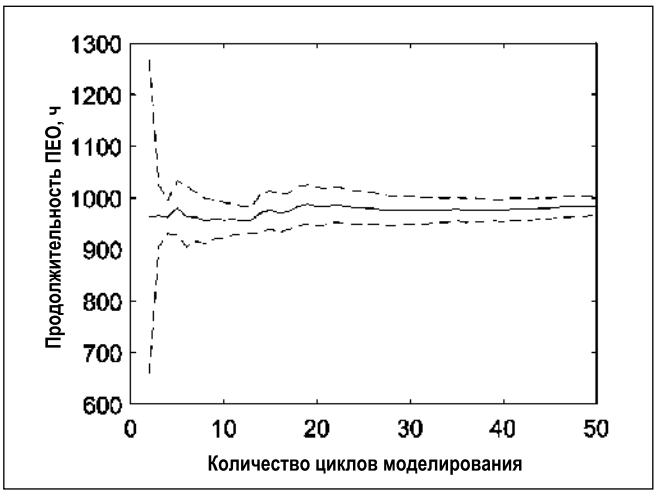


Рис. 6. Сходимость продолжительности ПЕО. Сплошная линия соответствует средним значениям, а штриховые линии ограничивают 95 % доверительную область

3. Результаты и обсуждение

3.1. Неопределённость регулирования СЗУ

3.1.1. Сравнение двух циклов моделирования

Для демонстрации обусловленной поведением пользователей неопределённости, в этом разделе рассмотрены два цикла моделирования. На каждом временном шаге моделирования осуществляется случайная выборка значения из непрерывного равномерного распределения в интервале от 0 до 1 и производится сравнение с переходной матрицей цепи Маркова (см. раздел 2). В результате при помощи поведенческой модели работы СЗУ (рис. 2) были получены почасовые значения КЗ. На рис. 3 приведены годовые почасовые значения КЗ для двух циклов моделирования, обозначенных как *N1* и N2. При этом можно заметить значительные различия между этими двумя циклами моделирования, характеризующимися разными направлениями случайных изменений параметров. Соответствующие зависимости приведены на рис. 4, где продемонстрированы различия между значениями КЗ, полученными применительно к двум рассмотренным циклам моделирования. Поведение пользователей является стохастическим, и обусловленная этим поведением неопределённость проявляется в том, что различия значений КЗ по большей части отличны от 0 (они преимущественно лежат в интервале от –1 до 1). Эти различия непосредственно влияют на энергопотребление, так что один единственный цикл моделирования не способен отразить

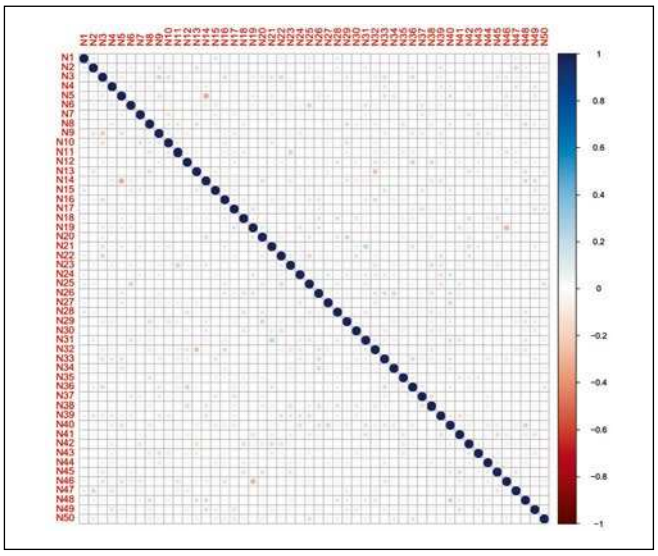


Рис. 7. Коэффициент корреляции между почасовыми значениями КЗ, соответствующими разным парам циклов моделирования

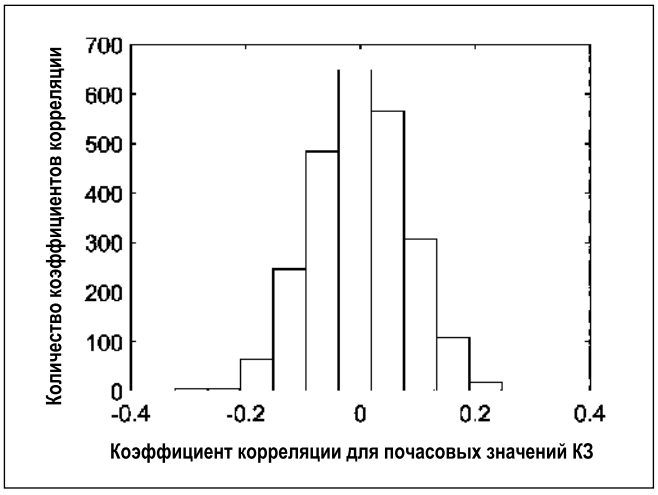


Рис. 8. Распределение коэффициента корреляции почасовых значений КЗ для 50-ти циклов моделирования (при построении этого графика учитывались только недиагональные элементы рис. 7)

Рис. 9. Продолжительности ПЕО для всех циклов моделирования

обусловленную поведение пользователей неопределённость.

3.1.2. Требуемое количество циклов моделирования

Минимальное количество циклов моделирования, необходимое для получения сходящегося решения, определялось графическим методом. Полученные результаты приведены на рис. 5 и 6, из которых следует, что после 20 циклов моделирования среднегодовая естественная освещённость сходится, тогда как для сходимости продолжительности ПЕО требуется примерно 25 циклов моделирования. Для более точной оценки неопределённости в данной работе было выбрано равное 50 количество циклов моделирования. При этом следует отметить, что это количество требующихся циклов моделирования было получено применительно к работе СЗУ в рассматриваемых климатических условиях. В других работах, в которых моделировали больше вариантов поведения пользователей (сочетание регулировки СЗУ, открывания окна, выбора режима работы кондиционера и т.д.), это количество оказалось большим [14]. Так что чем меньше вариантов поведения пользователей принимаются во внимание, тем меньше и требуемое количество циклов моделирования. А при рассмотрении других моделей работы СЗУ требуемое количество циклов моделирования может отличаться от полученного в этой работе, и его следует определить при помощи метода, описанного в разделе 2.3.

3.1.3. Корреляция между результатами различных циклов моделирования

На рис. 7 приведены полученные на основе 50-ти циклов моделирования значения коэффициента корреляции Спирмена для почасовых значений КЗ, соответствующих разным парам циклов моделирования (на рис. 7 видны только диагональные элементы, так как прочие элементы имеют слишком маленькие размеры). При этом площадь круга отражает абсолютное значение соответствующего коэффициента корреляции (чем больше площадь круга, тем сильнее корреляция между циклами моделирования). Круги, расположенные на главной диагонали, имеют наибольшую площадь, так как в этом случае расчёты проводятся применительно к одному и тому же циклу моделирования, и коэффициент Спирмена равен 1. Распределение коэффициентов корреляции для недиагональных элементов приведено на рис. 8, из которого следует, что коэффициенты корреляции между почасовыми значениями КЗ по большей части близки к 0 и только в некоторых случаях достигают значений порядка 0,2/-0,2, что говорит об отсутствии корреляции или об очень слабой корреляции. Так что поведенческая модель не нивелирует неопределённость работы СЗУ, и её можно использовать для проведения анализа неопределённости естествен-

ного освещения и расходуемой на освещение энергии.

3.2. Неопределённость характеристик естественного освещения

На рис. 9 приведены продолжительности ПЕО для каждого из циклов моделирования, которые изменяются от цикла к циклу в пределах диапазона 800–2000 ч, что говорит о довольно большой неопределённости (в крайних случаях равной примерно (1200–800)/800·100 % = 50 %)). Для дальнейшего рассмотрения возможного распределения продолжительности ПЕО на рис. 10 приведён график нормальной вероятности, на котором полученные данные лежат примерно на прямой линии или около неё, что говорит о том, что распределение продолжительности ПЕО скорее всего является нормальным. Кроме того, для подтверждения нормального распределения этих данных был использован более строгий статистический критерий Шапиро-Вилка [16]. В результате было получено, что *p*-значение превышает 0,05 (пороговое значение), а это говорит о невозможности исключения нулевой гипотезы и нормальном распределении данных. При помощи уравнений (1) и (2) была рассчитана неопределённость характеристик естественного освещения (продолжительности ПЕО), оказавшаяся равной 15,08 %, а это означает, что если при прогнозировании естественного освещения не принимать во внимание поведение пользователей, то погрешность может оказаться равной примерно 15 %.

3.3. Неопределённость расходуемой на освещение энергии

Согласно действующим в Китае стандартам на освещение офисных зданий, если естественная освещённость оказывается меньшей, чем 300 лк, то необходимо ещё и искусственное освещение. Поэтому количество расходуемой на освещение энергии можно определить исходя из характеристик естественного освещения. Соответственно, для каждого из циклов моделирования была рассчитана продолжительность искусственного освещения (т.е. продолжительность периодов, в течение которых естественная освещённость становится меньшей чем 300 лк). Полученные результаты приведены на рис. 11, на котором видно, что продолжительность искусственного освещения лежит главным образом в интервале 600–700 ч. А на представленном на рис. 12 графике нормальной вероятности для продолжительности естественного освещения видно, что полученные данные лежат примерно на прямой линии или около неё. Кроме того, в результате применения критерия Шапиро-Вилка было получено, что *p*-значение превышает 0,05 (пороговое значение), а это говорит о нормальном распределении данных. Поэтому была произведена аппроксимация в соответствии с уравнением (1), после чего на основе приведённых в табл. 1 данных

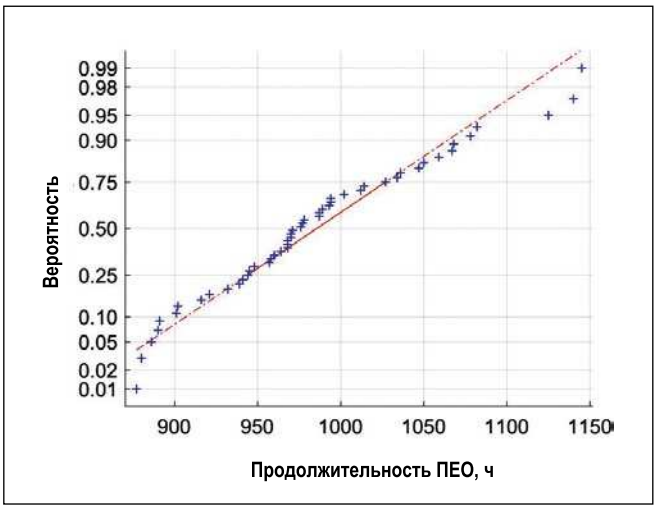


Рис. 10. График нормальной вероятности для продолжительности ПЕО

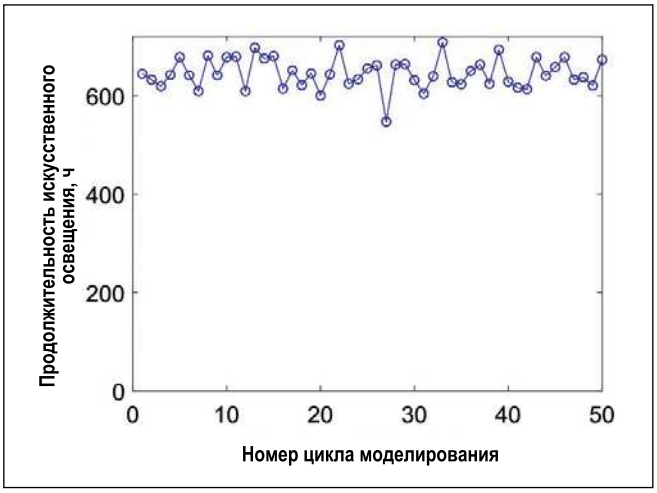


Рис. 11. Продолжительности искусственного освещения для всех циклов моделирования

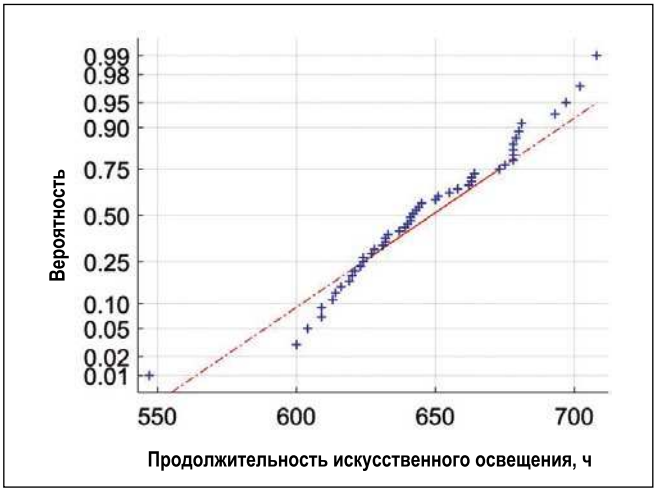


Рис. 12. График нормальной вероятности для продолжительности искусственного освещения

об удельном количестве расходуемой на освещение энергии при помощи уравнения (2) была рассчитана выраженная в процентах неопределённость этой энергии, оказавшаяся равной 10,38 %. Хотя такой уровень неопределённости расхода энергии не очень существенен и меньше, чем неопределённость характеристик естественного освещения, он всё же влияет на результаты экономического анализа (например, на определение срока окупаемости) регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности регулируемых вручную СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать.

Если не учитывать поведение пользователей, то сравнение различных способов экономии энергии (например, сравнение сочетания прозрачных окон и регулируемых вручную СЗУ с окнами с пониженной прозрачностью без СЗУ) может привести к неправильным результатам. Например, моделирование энергозатрат требуется производить на стадии проектирования здания, и согласно требованиям китайских стандартов на энергоэффективность зданий прогнозируемая экономия энергии должна составлять не менее чем 50 %. И даже если прогнозируемая экономия энергии окажется всего лишь на 1 % меньшей, чем 50 %, то для удовлетворения обязательным нормативным требованиям нужно будет предпринять более эффективные по сравнению с уже задействованными меры, позволяющие увеличить экономию энергии по меньшей мере на 1 %. И равная примерно 10 % неопределённость энергозатрат может существенным образом повлиять на выбор мер по обеспечению энергоэффективности зданий, так что при расчётах следует учитывать обусловленную поведением потребителей неопределённость энергозатрат. Однако включение точного анализа неопределённости энергозатрат в обязательные стандарты связано с большими трудностями, так как существующие поведенческие модели СЗУ всё ещё разрабатываются в исследовательских целях и не могут быть напрямую использованы при проектировании зданий. Тем не менее, можно предложить некоторые усовершенствования связанных с проектированием стандартов, которые обеспечили бы более точное прогнозирование неопределённости энергозатрат вместо использования простых сценариев регулирования СЗУ (таких как полное затенение или полное отсутствие затенения, что соответствует совершенно нереальному поведению пользователей), приводящих к единственному детерминированному варианту энергозатрат. Например, таким усовершенствованием может стать использование характерных значений КЗ (например, нижняя и верхняя границы доверительного интервала с уровнем доверия 75 %) для моделирования, осуществляемого в соответствии с рис. 3. Этот подход обеспечивает получение вероятного интервала энергоэффективности и уровня неопределённости. Кроме того, более реалистичные параметры моделирования работы регулируемый вручную СЗУ нужны и для связанных с проектированием стандартов. При этом возможные усовершенствования этих стандартов нуждаются в дополнительном рассмотрении и проверке на основе большего количества результатов полевых исследований.

4. Заключение

В статье представлен анализ неопределённостей характеристик естественного освещения и расходуемой на освещение энергии при использовании регулируемых вручную СЗУ. При этом для проведения совместного моделирования использовалась разработанная ранее стохастическая модель. Полученные результаты показали, что использование поведенческой модели СЗУ с очень слабой связью между результатами различных циклов моделирования (значений КЗ) не привело к устранению неопределённости работы СЗУ. Неопределённость характеристик естественного освещения составила 15,08 %, тогда как неопределённость затрачиваемой на освещение энергии оказалась равной 10,38 %. Хотя подобная неопределённость расхода энергии не очень существенна, она всё же влияет на результаты экономического анализа регулируемых вручную СЗУ, так что при прогнозировании энергоэффективности регулируемых вручную СЗУ неопределённость поведения пользователей следует учитывать. В ином случае сравнение различных способов экономии энергии может привести к неправильным результатам.

Эта работа финансировалась Фондом естественнонаучных исследований провинции Чжэцзян, Китай (грант № LY18E080012), Китайским национальным фондом естественнонаучных исследований (грант № 51878358) и Национальной программой НИОКР в области важнейших технологий Министерства науки и техники (грант 2013BAJ10B06). Кроме того, авторы хотели бы выразить свою благодарность фонду *K.C. Wong Magna Fund* Университета г. Нинбо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yao, J.* An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvements // Building and Environment.– 2014. – No. 1. – P. 24–32.

2. *Yao, J.* Determining the energy performance of manually controlled solar shades: A stochastic model based co-simulation analysis // Applied Energy.– 2014. – No. 8. – P. 64–80.

3. *Yan, D., et al.* IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings // Energy and Buildings.– 2017. – Supplement C. – P. 258–270.

4. *Labat, M., Attonaty, K.* Numerical estimation and sensitivity analysis of the energy demand for six industrial buildings in France // Journal of Building Performance Simulation.– 2018. – No. 2. – P. 223–240.

5. *Guerra-Santin, O., et al.* Mixed methods approach to determine occupants' behaviour – Analysis of two case studies // Energy and Buildings.– 2016. – Vol. 130, No. 10. – P. 546–566.

6. *Haldi, F., Robinson, D.* The impact of occupants' behaviour on building energy demand // Journal of Building Performance Simulation.– 2011. – No. 4. – P. 323–338.

7. *Brien, W.O., Gunay, H.B.* Mitigating office performance uncertainty of occupant use of window blinds and lighting using robust design // Building Simulation.– 2015. – No. 6. – P. 621–636.

8. *Gilani, S., O'Brien, W., Gunay, H.B.* Simulating occupants' impact on building energy performance at different spatial scales // Building and Environment.– 2018. – Vol 132, No. 3. – P. 327–337.

9. *Reinhart, C.F.* Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds // Solar Energy.– 2004. – No. 1. – P. 15–28.

10. *Yao, J., et al.* Occupants' impact on indoor thermal comfort: a co-simulation study on stochastic control of solar shades // Journal of building performance simulation.– 2016. – No. 3. – P. 272–287.

11. *Yao, J.* Daylighting performance of manual solar shades // Light & Engineering.– 2018. – No. 1. – P. 99–104.

12. *Яо Ц.* Естественное освещение при ручном регулировании солнцезащитных устройств // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 57–61.

13. *Yao, J., Chow, D., Chi, Y.* Impact of Manually Controlled Solar Shades on Indoor Visual Comfort // Sustainability.– 2016. – No. 8. – Article number 727.

14. *Chapman, J., Siebers, P., Robinson, D.* On the multi-agent stochastic simulation of occupants in buildings // Journal of Building Performance Simulation.– 2018. – No. 5. – P. 604–621.

15. *Robinson, S.* Simulation: The Practice of Model Development and Use. – UK: Palgrave Macmillan, 2014.– 392 p..

16. *Prada, A., et al.* Uncertainty propagation of material properties in energy simulation of existing residential buildings: The role of buildings features // Building Simulation.– 2018. – No. 3. – P. 449–464.

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

Ли И Чэнь (LiYi Chen). *Преподаватель архитектурного факультета Университета г. Нинбо, Китай. Имеет многолетний опыт работы в области архитектурно-строительного проектирования*

У Цзинь (Wu Jin). *Преподаватель архитектурного факультета Университета г. Нинбо, Китай. Имеет многолетний опыт преподавания в области архитектурно-строительного проектирования, в том числе проектирования коммерческих зданий, жилых домов, школьных зданий и др.*

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2020 ГОДУ (II квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
14–16.04	***ElectronTechExpo* - 2020** 18-я Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности ***ExpoElectronica* - 2020** 23-я Международная выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих ***ВакуумТехЭкспо* - 2020** 15-я Международная выставка вакуумной техники, материалов и технологий	Москва, РФ exponet.ru
20–22.04	**Свет в музее** 2-я Международная научно-практическая конференция по вопросам музейного освещения	Санкт-Петербург, РФ svet-v-muzee-2020.nts-svet.ru
20–22.04	**9th *LUX PACIFICA*** 9-я Международная конференция светотехнических обществ стран Тихоокеанского региона	Санкт-Петербург, РФ luxpacifica2020.vnisi.ru
21–23.04	***EnergyExpo Kyrgyzstan* - 2020** 11-я Международная специализированная выставка энергетики и освещения	Бишкек, Кыргызстан exponet.ru
22–24.04	***LEDTEC Asia*** Вьетнамская международная торгово-промышленная выставка по светодиодам, органическим светодиодам и цифровым медиасистемам	Хошимин, Вьетнам lightsearch.com
05–07.05	***LIGHTFAIR International*** Международная светотехническая торгово-промышленная выставка	Лас-Вегас (Нев.), США lightsearch.com
08–11.06	**Электро - 2020** 29-я Международная выставка электрооборудования для энергетики и электротехники, автоматизации и промышленной светотехники **Мир стекла - 2020** Международная выставка стеклопродукции, технологий и оборудования для изготовления и обработки стекла	Москва, РФ exponet.ru
18–21.06	***Lightovation: Dallas International Lighting Show*** Международная светотехническая торговая выставка	Даллас (Тех.), США lightsearch.com

Эффективный источник УФ излучения на основе бесферритного индукционного ртутного разряда в замкнутой трубке малого диаметра

П.В. СТАРШИНОВ [1], О.А. ПОПОВ [1], Р.А. ИЛИКЕЕВА [1], Д.А. БУРЕЕВА [1], И.В. ИРХИН [2], В.А. ЛЕВЧЕНКО [3], Г.П. ТЕРЕХОВ [1]

НИУ «МЭИ» [1], ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» [2], НПО «ЛИТ» [3], Москва

E-mail: popovoleg445@yahoo.com

Аннотация

Проведено экспериментальное исследование характеристик бесферритных индукционных разрядов в лампах, образованных замкнутой кварцевой трубкой с длиной 815 мм и внутренним диаметром 16,6 мм. Разряд поддерживался при частоте 1,7 МГц и мощности плазмы разряда 90–60 Вт в смеси паров ртути ($7\cdot10^{-3}$мм рт. ст.) с *Ar* (0,7 и 1,0 мм рт. ст.) или со смесью 30 % *Ne* + 70 % *Ar* (0,7 и 1,0 мм рт. ст.). Выполненная из литцендрата с низким удельным погонным сопротивлением ($1{,}4\cdot10^{-4}$ Ом/см) 3-витковая катушка индуктивности размещалась по внешнему периметру разрядной трубки. В лампах с давлением инертных газов 1,0 мм рт. ст. повышение мощности лампы с 95 до 150 Вт сопровождалось снижением мощности потерь в проводе катушки индуктивности с 7 до 3–4 Вт и повышением энергетического КПД лампы в резонансной линии ртути 254 нм с 57 до 66 %. Снижение давлений и *Ar*, и *Ne-Ar* смеси с 1,0 до 0,7 мм рт. ст. снижало этот показатель на 10–20 %.

Ключевые слова: индукционный разряд, замкнутая разрядная трубка, ртутная плазма НД, мощность потерь, УФ резонансное излучение.

Введение

Безэлектродные индукционные лампы на смесях паров ртути НД (давление около 1 мм рт. ст.) и инертных газов (ИГ) – перспективные источники УФ резонансного излучения на λ 185 и 254 нм, используемого в бактерицидных лампах [1, 2]. Благодаря отсутствию внутренних электродов они имеют высокий срок службы и могут работать при низких давлениях ИГ (0,1–1,0 мм рт. ст.), соответствующих, в частности, максимальным значениям энергетического КПД лампы в резонансной линии ртути 254 нм $\eta_{e,\,254}$, определяемого отношением потока излучения лампы в этой линии $\Phi_{e,\,254}$ к мощности лампы P_{lamp} [3–5]. Это делает безэлектродные индукционные УФ лампы НД конкурентами электродных ртутных УФ ламп, работающих при более высоких давлениях ИГ (2–3 мм рт. ст.) [6].

Особый интерес представляют бесферритные индукционные лампы УФ излучения, в которых ртутная плазма возбуждается в замкнутой разрядной трубке с помощью катушки индуктивности, размещённой по периметру этой трубки [7, 8]. В недавних экспериментальных исследованиях этого вида ламп с кварцевыми трубками внутреннего диаметра d_t 16,6 и 25 мм, работающих на частоте *f* 1,7 МГц при равной 0,8–1,2 Вт/см удельной мощности плазмы разряда P_1, выражаемой отношением P_{pl}/Λ_{pl}, где P_{pl} – мощность плазмы разряда, а Λ_{pl} – длина замкнутого плазменного витка, были получены высокие значения (63–65 %) отношения $\Phi_{e,\,254}/P_{pl}$ [9, 10] [1], которые больше, чем у электродных УФ ламп НД [6], индукционных бесферритных линейных УФ ламп НД, работающих на *f* 1–4 МГц [5], и УФ ламп НД трансформаторного типа, работающих на *f* 265 кГц [3, 4].

[1] Это отношение в статьях [3–5, 9, 10] ошибочно интерпретируется как энергетический КПД *плазмы разряда* в линии ртути 254 нм. – Прим. ред.

Однако из-за большой (40–45 Вт) мощности потерь в проводе катушки индуктивности P_{coil} – вследствие высокого удельного погонного сопротивления ρ_w одножильного медного провода ($8\cdot10^{-4}$ Ом/см) – КПД этой катушки η_{coil}, определяемый как 1 – P_{coil}/P_{lamp}, не превышал 80 %, а $\eta_{e,\,254}$– 50 % [9, 10]. Очевидно, для существенного повышения η_{coil} (до 95–97 %) в бесферритных индукционных лампах можно использовать катушки индуктивности из провода с малым ρ_w (< $2\cdot10^{-4}$ Ом/см), каковым при *f* = 0,2–2,0 МГц является многожильный (19–140 жил) медный провод (литцендрат).

Большой практический интерес представляет исследование возможности создания высокоэффективных бесферритных индукционных амальгамных разрядных УФ ламп НД с замкнутой трубкой с d_t 16,6 мм, способных заменять электродные УФ лампы НД с разрядной трубкой того же диаметра [6].

Экспериментальная установка и методики измерений

Индукционный разряд зажигался на частоте *f* 1,7 МГц в лампе, образованной замкнутой кварцевой трубкой со стенкой толщиной 1,2 мм, с d_t 16,6 мм и Λ_{pl} 815 мм (рис 1). Лампа имела вид вытянутого кольца длиной 375 мм с расстоянием между длинными параллельными участками разрядной трубки 82 мм. ВЧ индуктором служила 3-витковая катушка индуктивности из литцедрата с ρ_w $1{,}4\cdot10^{-4}$ Ом/см и диаметром d_w 1,5 мм, размещённой по внешнему периметру лампы (рис. 1). Давление паров ртути поддерживалось по максимуму $\Phi_{e,\,254}$ температурой ртутно-индиевой амальгамы, помещённой на внутренней поверхности разрядной трубки. В качестве буферных газов использовались *Ar* и смесь 30 % *Ne* + 70 % *Ar* с давлением 0,7 и 1,0 мм рт. ст.

Измерения проводились при мощности комплекта P_k, включающей в себя P_{lamp} и мощность потерь в ВЧ

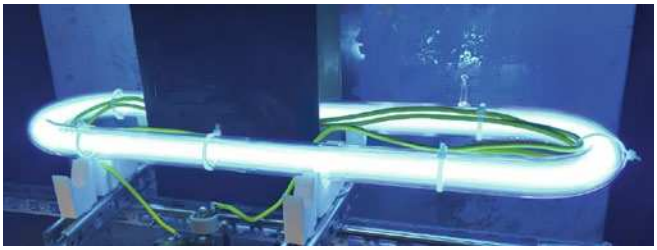


Рис. 1. Фотография бесферритной индукционной ртутной лампы НД

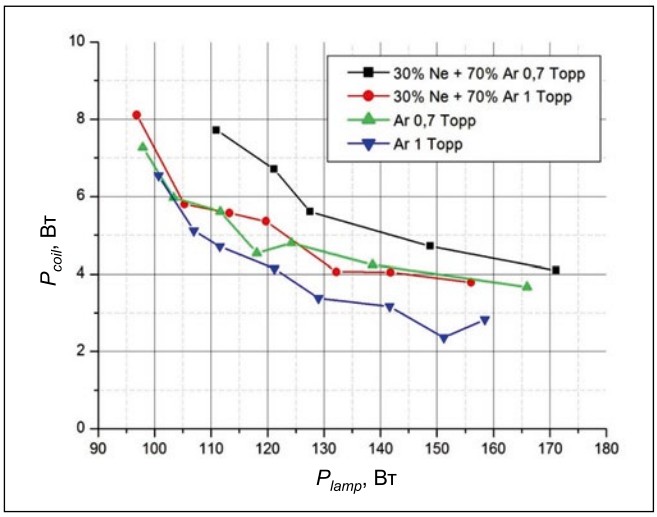


Рис. 2. Зависимость P_{coil}, от P_{lamp}. (1 Торр = 1 мм рт. ст.)

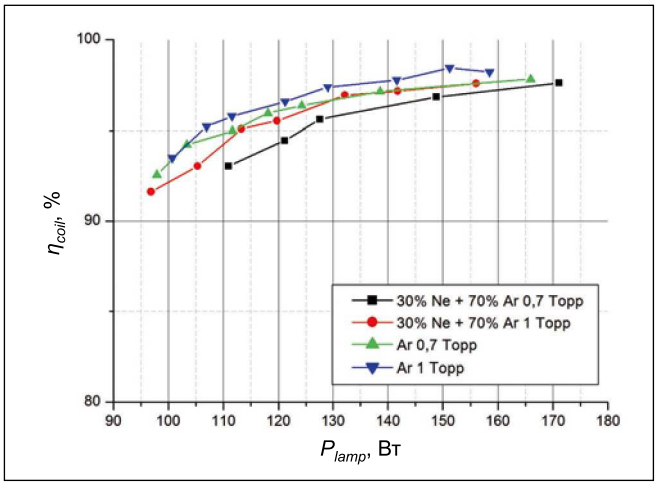


Рис. 3. Зависимость η_{coil} от P_{lamp}

генераторе P_{gen}, равной 107–190 Вт. (При $f < 10$ МГц мощность электромагнитного излучения, рассеиваемая катушкой, ничтожно мала [7], и потому $P_{lamp} = P_{pl} + P_{coil}$.) КПД работавшего на $f = 1{,}7$ МГц генератора мощности η_{gen}, определяемый как $\eta_{gen} = 1 - P_{gen}/P_k$, составлял 0,9, а P_{coil} находилась методом замещения в отсутствие в лампе разряда [4, 7].

Лампа размещалась в чёрном заземлённом металлическом коробе. Измерения $\Phi_{e,\,254}$ проводились с помощью УФ датчика *IS-4*, расположенного вплотную к поверхности колбы. Датчик предварительно калибровался по эталонной лампе с известным $\Phi_{e,\,254}$, контролируемым по модернизированной схеме измерения Кайтца [3].

Результаты измерений и их обсуждение

На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости P_{coil} от P_{lamp}, полученные в индукционных лампах с двумя разными наполнениями и их давлениями. Видно, что: P_{coil} снижается с 7–8 Вт (P_{lamp} 95 Вт) до 3–4 Вт (P_{lamp} 140–150 Вт), а при б*о*льших P_{lamp} практически не меняется; снижение давления и добавление к *Ar* более лёгкого *Ne* повышает, хоть и незначительно, P_{coil}. С практической точки зрения необходимо отметить, что у катушки из литцендрата P_{coil} значительно ниже, чем у катушки из медного провода с тем же d_w (1,5 мм) в лампе с теми же конструктивными параметрами [10].

Малость P_{coil} обусловила высокий η_{coil}, возрастающий с повышением P_{lamp} с 92 % (P_{lamp} 96 Вт) до 97–98 % (P_{lamp} 160 Вт) (рис. 3), что на 25–30 % выше, чем у катушки индуктивности из медного провода с тем же d_w, использовавшейся в индукционной бесферритной лампе с разрядной трубкой с d_t 16,6 мм, работающей на f 1,7 МГц при тех же уровнях P_{lamp} [10].

На рис. 4 представлены экспериментальные зависимости $\Phi_{e,\,254}$ от P_{lamp} для смесей паров ртути с *Ar* и со смесью 30 % *Ne*+70 % *Ar* с давлениями по 0,7 и 1,0 мм рт. ст. Видно, что при давлении ИГ 1,0 мм рт. ст. $\Phi_{e,\,254}$ возрастает с ростом P_{lamp} с 55 Вт (P_{lamp} 95 Вт) до 102 Вт (P_{lamp} 160 Вт) и превосходит по уровню на 10–20 % $\Phi_{e,\,254}$ при давлении ИГ 0,7 мм рт. ст. (Попутно заметим, что в безэлектродных индукционных ртутных ЛЛ максимумы зависимостей $\Phi_{e,\,254}$ и светового потока лампы от давления ИГ с уменьшением d_t и P_{pl} смещаются вправо [11].)

Из рис. 5 видно, что максимальное значение $\eta_{e,\,254}$ (64–66 %) при давлении ИГ 1,0 мм рт. ст. достигается при P_{lamp} = 120–160 Вт (P_1 = 1,5–2,0 Вт/см). Оно значительно выше, чем у индукционных ламп с такими же конструктивными параметрами разрядной трубки, но с катушкой индуктивности из медного провода с б*о*льшим ρ_w ($8 \cdot 10^{-4}$ Ом/см) [9, 10]. С практической стороны весьма важно, что $\eta_{e,\,254}$ у ламп с катушкой индуктивности из литцендрата на 30–40 % выше, чем у УФ трубчатых ламп с внутренними электродами и d_t 16,6 мм, работающих при тех же уровнях P_{lamp}, но при более высоких (3–4 мм рт. ст.) давлениях ИГ [6].

«Разбавление» аргона неоном практически не влияет на $\eta_{e,\,254}$ УФ индукционных ламп с давлением ИГ 1,0 мм рт. ст. Небольшое повышение $\eta_{e,\,254}$ в случае смеси *Ar* с *Ne* с меньшим давлением, 0,7 мм рт. ст., возможно, связано с большей напряжённостью ВЧ электрического поля и, следовательно, большей электронной температурой плазмы индукционного разряда лампы.

Стоит заметить, что на уровень $\Phi_{e,\,254}$ дополнительно влияют оптические потери как в самой замкнутой разрядной трубке, так и вследствие её самоэкранирования, а также из-за экранирующего действия катушки индуктивности. В частности, поэтому для повышения $\Phi_{e,\,254}$ и, соответственно, $\eta_{e,\,254}$ следует стремиться к уменьшению числа витков катушки N и (или) d_w.

В то же время для сохранения высокой добротности катушки и малости P_{coil} уменьшение N должно сопровождаться повышением f ВЧ электрического поля [12], что без «пропорционального» снижения плотности плазмы может приводить к скин-эффекту, «выталкивающему» ВЧ электрическое поле к стенкам разрядной трубки и повышающему среднюю по сечению плазмы напряжённость поля

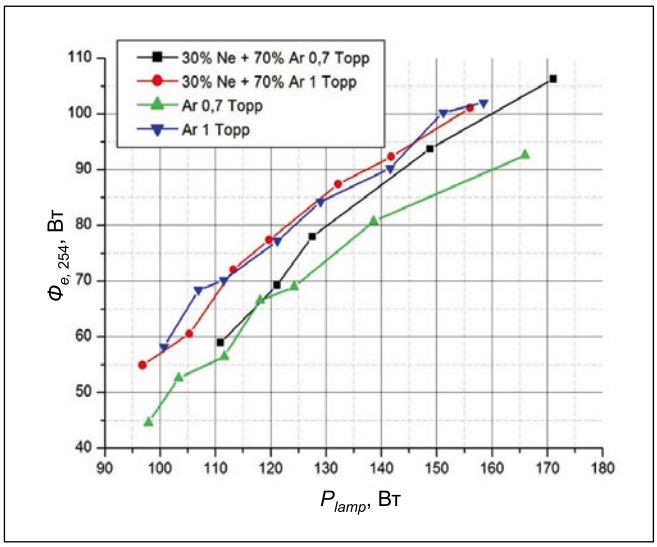


Рис. 4. Зависимость $\Phi_{e,\,254}$ от P_{lamp}

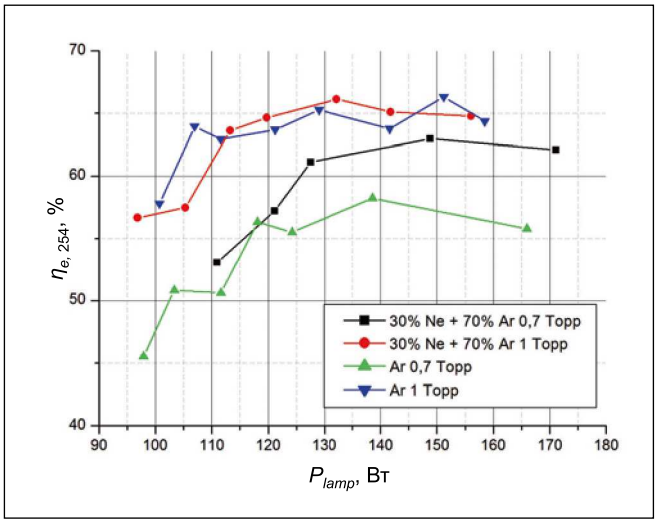


Рис. 5. Зависимость $\eta_{e,\,254}$ от P_{lamp}

$\bar{E}_{pl}$ [13–16]. В этом случае возрастает электронная температура, а с ней растут и $\Phi_{e,\,254}$ и $\eta_{e,\,254}$ [9, 10]. Однако $\eta_{e,\,254}$ из-за роста P_{coil}, пропорциональной квадрату этой напряжённости, может расти слабо или даже падать [9, 10, 17].

Заключение

– Благодаря применению многожильного провода (литцендрат) с малым ρ_w ($1{,}4\cdot10^{-4}$ Ом/см) P_{coil} в исследованном интервале значений P_{lamp} 90–150 Вт стала низкой (3–7 Вт), а η_{coil} намного возрос (92–98 %).

– Значения $\eta_{e,\,254}$ достигли 62–66 %, что выше, чем у бесферритных индукционных ламп с замкнутыми разрядными трубками того же диаметра, но с катушкой индуктивности из одножильного провода [9, 10], и значительно выше, чем у ртутных УФ ламп НД, работающих на более низких f (20–80 кГц) [6].

– Добавление *Ne* (30 %) к *Ar* заметного повышения $\eta_{e,\,254}$ не даёт, а повышение давления ИГ с 0,7 до 1,0 мм рт. ст. увеличивает $\eta_{e,\,254}$ на 15–20 %.

– Для снижения экранирующего действия витков катушки индуктивности рекомендуется уменьшать d_w и N (с соответственным повышением f электрического поля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исупов М.В., Кротов С.В., Литвинцев А.Ю., Уланов И.М.* Индукционная ультрафиолетовая лампа // Светотехника. – 2007. – № 5. – С. 37–40.

2. *Kobayashi S., Hatano A.* High-intensity low-pressure electrodeless mercury-argon lamp for UV disinfection of wastewater // Journal of Water and Environment Technology. – 2005. – Vol. 3., No.1. – P. 71–76.

3. *Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В.* Экспериментальные исследования электрических и оптических характеристик безэлектродной УФ лампы трансформаторного типа // Светотехника. – 2014. – № 6. – С. 39–43.

4. *Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В.* Электрические и излучательные характеристики лампы трансформаторного типа с разрядной трубкой диаметром 16,6 мм // Светотехника. – 2016. – № 1. – С. 41–44.

5. *Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А., Старшинов П.В.* Характеристики бесферритного индукционного разряда низкого давления. Часть 2. Излучательные характеристики плазмы // Успехи прикладной физики. – 2016. – № 4. – С. 372–384.

6. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Под ред. Ф.В. Кармазинова, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцева, С.В. Храменкова. – Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2012. – 392 с.

7. *Popov O.A., Chandler R.T.* Ferrite–free high power electrodeless fluorescent lamp operated at a frequency of 160–1000 kHz // Plasma Sources Science and Technology. – 2002. – Vol. 11. – P. 218–227.

8. *Попов О.А., Никифорова В.А.* Индукционный бесферритный источник

света мощностью 300–400 Вт на частоте 200–400 кГц // Вестник МЭИ. – 2010.

– № 2. – С. 159–164.

9. *Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Левченко В.А., Васина В.Н.* Индукционная УФ лампа на основе ртутного разряда НД в замкнутой бесферритной трубке // Светотехника. – 2019. – № 2. – С. 44–46.

10. *Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Васина В.Н., Левченко В.А.* Электрические и излучательные характеристики индуктивных бесферритных ртутных УФ ламп в замкнутых трубках // Вестник МЭИ. – 2019. – № 3. – С. 87–97.

11. *Попов О.А.* Исследование влияния давления инертного газа на характеристики индукционных люминесцентных ламп // Вестник МЭИ. – 2013. – № 3. – С. 76–84.

12. *Ловля Е.В., Попов О.А.* Мощность потерь в индукторе бесферритных индукционных ртутных ламп НД с замкнутой разрядной трубкой // Светотехника. – 2019. – № 6. (Принята к публикации.)

13. *Райзер Ю.П.* Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. – 592 с.

14. *Hyo–Chang Lee, Seung Ju Oh, Chin–Wookn Chung.* Experimental observation of the skin effect on plasma uniformity in inductively coupled plasmas with a radio frequency bias // Plasma Sources Sci. Technol. – 2012. – Vol. 21, No. 3.

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

16. *Александров А.Ф., Вавилин К.В., Кралькина Е.А., Неклюдова П.А., Павлов В.Б.* Исследование параметров плазмы индуктивного ВЧ-источника плазмы диаметром 46 см. Ч.I. Параметры плазмы в области скин-слоя // Прикладная физика. – 2013. – № 5. – С. 34–37.

17. *Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А., Старшинов П.В.* Характеристики бесферритного индукционного разряда низкого давления. Часть 1. Электрические характеристики ВЧ индуктора // Успехи прикладной физики. – 2016. – № 2. – С. 139–149.

Старшинов Павел Валерьевич, *магистр техн. наук. Окончил в 2015 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ». Аспирант этой кафедры*

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

Иликеева Римма Анваровна, *аспирант кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Буреева Дарья Александровна, *студент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Ирхин Игорь Вячеславович, *кандидат техн. наук. Ведущий научный сотрудник ВЭИ – филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»*

Левченко Владимир Александрович, *кандидат физ.-мат. наук. Окончил МФТИ. Зам. заведующего лабораторией НПО «ЛИТ»*

Терехов Геннадий Петрович, *ассистент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»*

Новости МКО

Вышел отчёт МКО *CIE* 237:2020 *Non-Linearity of Optical Detector Systems* («Нелинейность оптических детекторных систем»)

В новом техническом отчёте МКО содержатся рекомендации по определению характеристик, выбору и применению детекторов оптического излучения для выполнения линейных условий измерения. Это помогает пользователям определять причины нелинейного поведения и избегать нелинейной работы. В отчёте рассматриваются рабочие схемы детектора, условия измерения, измерения сигнала детектора в различных режимах и измерения предусилителя. Показано, как создать систему детекторов, которая минимизирует погрешности измерений, вызванные нелинейной работой. Кроме того, в документе описываются методы проведения испытания нелинейности, с помощью которых можно определить линейность детекторов и их рабочих цепей.

Документ на 35 страницах издан на английском языке, с кратким изложением на французском и немецком языках и доступен для покупки в интернет-магазине МКО.

Ближайшие мероприятия МКО

5-й Экспертный Симпозиум по цвету и визуализации – 20–24 апреля 2020 года, Гонконг

Семинар МКО по расчёту и измерению световых помех – 21–22 мая 2020, Острава, Чешская Республика. Семинар будет проходить на факультете электротехники и информатики Технического университета Остравы. Предварительная программа и вся необходимая информация доступны на сайте МКО – www.cie.co.at

Пресс-релиз Международной комиссии по освещению (МКО) за январь 2020 года

Новые исследования по крупногабаритным гибким диодам ближнего ИК излучения

Исследователи из Национального университета Сингапура под руководством проф. Тан Чжи-Куана (*Tan Zhi Kuang*) разработали высокоэффективные большие по площади, 900 мм^2, гибкие диоды ближнего ИК диапазона для технически новых носимых устройств с использованием недорогих методов мокрого осаждения.

Эти диоды значительно больше описанных в других сообщениях и открывают целый ряд новых применений. В них используется новый прямозонный полупроводник на основе перовскита, способный к сильному излучению. Используя новую архитектуру диода, исследователи способны настраивать инжекцию электронов и дырок в перовскит, с тем чтобы сбалансированное число противоположных зарядов встречалось и вызывало эффективную генерации света. Учёные также обнаружили, что это усовершенствование позволяет изготовлять диоды большой площади со значительно более высокой воспроизводимостью.

При этом эффективность инжекции дырок существенно влияет на работу диода. Использование органического полупроводника с более низким потенциалом ионизации в качестве части структуры диода инжекцию дырок и зарядовое равновесие может улучшать. В результате диоды могут излучать с эффективностью (внешняя квантовая эффективность 20 %), близкой к теоретическому пределу, и, кроме того, иметь уменьшенный разброс характеристик от изделия к изделию, позволяющий создавать гораздо более крупные ИК диоды.

Проф. Тан Чжи-Куан сказал: «Некоторые из технологий, которым наше устройство могло бы дать жизнь, – скрытое (визуально невидимое) облучение в технологиях распознавания лиц или отслеживания взгляда в системах дополненной/виртуальой реальности. В частности, мы продемонстрировали, что наши ИК диоды подходят для чрескожного облучения (освещения) глубоких тканей, например, в носимых устройствах слежения за здоровьем».

На рис. *А* демонстрируется равномерность свечения перовскитного диода, а на рис. *В* – визуализацию с его помощью подкожных кровеносных сосудов на кулаке.

Полное описание данного исследования см. на сайте журнала «*Nature Photonics*» (02.12.2019).

ledinside.com
30.12.2019

Моделирование инсоляционного режима застройки с применением инсопланограммы

А.И. ГИЯСОВ
НИУ «МГСУ», Москва
E-mail: adham52@mail.ru

Аннотация

Предложена и описана в действии конструкция инсопланограммы планшетного типа, предназначенной для моделирования инсоляции и степени затенения территории разновысотной застройки и зданий в южных географических широтах путём определения оптимального разрыва между зданиями за счёт выявления площадей затенения и инсоляции.

Ключевые слова: инсоляция, инсопланограмма, затенение, радиация, светотень, здания, застройка.

Для регулирования свето- и микроклимата городской застройки и обеспечения санитарно–гигиенических требований большое значение имеет определение оптимального разрыва между зданиями. Выявление площади затенения и инсоляции является одной из наиболее значимых задач при определении плотности или процента застройки жилой территории и урбанизированной территории в целом. Архитекторы, строители, гигиенисты, врачи и др. специалисты уделяют этому вопросу большое внимание, так как инсоляция – важнейший природный фактор градостроительства.

Определение расположения здания в системе застройки с соответствующим санитарным разрывом и выбор его ориентации – одна из первоначальных задач оптимизации режима инсоляции, которая решается с учётом инсоляционных, противопожарных и других требований. При этом следует учитывать назначение здания, условия уже сложившейся городской застройки и климатические особенности района строительства.

Для оценок режима инсоляции и затенения территории городских застроек автором предлагается простая в применении конструкция инсопланограммы планшетного типа (ИПТ), которая позволяет моделировать воздействие лучистой энергии солнца на здания и территорию застройки.

Теоретические и экспериментальные исследования по инсоляции и естественному освещению начались более полувека назад (в связи с задачами архитектурного проектирования) и достаточно полно отражены, например, в книгах [1–5]. В них изложены методы геометрических и аналитических расчётов по инсоляции зданий, рассмотрены принципы солнцезащиты. Однако во всех этих и других подобных трудах вопросы инсоляции, естественного освещения и УФ облучения зданий рассматриваются для мест, существенно отличающихся от центральноазиатских и азиатских стран, находящихся в южных широтах – от 30 до 45° с.ш.

Солнечно-световой режим Центральной Азии весьма своеобразен: его характеризуют максимальная на территории СНГ вероятность и продолжительность солнечного сияния, наибольшая прямая, суммарная и отражённая радиация, незначительная рассеянная радиация и др. В этой связи режим солнечного облучения городских территорий и помещений (со значительной контрастностью природного освещения и с большой яркостью поверхностей), облучаемых прямыми лучами солнца, существенно влияет на характер светотени.

Вопросы инсоляции жилых помещений и территорий регулируются разными нормативными документами – в частности, [6–10].

В последние годы, наряду с аналитическим способом расчёта показателей инсоляции, появились работы по методам моделирования инсоляционного режима и графическим построениям теней от зданий и сооружений с целью оптимизации их расположения и ориентации на местности [11–15].

Геометрические методы построения конверта теней от затеняющих зданий в заданной местности и определения продолжительности инсоляции в заданном интервале времени приведены в работах [16,17].

Создано много программ для расчёта продолжительности инсоляции жилых зданий и территорий: см., напр., [18–20].

Встречаются примеры недооценки или переоценки таких средств регулирования, как воздействие лучистой энергии солнца на здания и территории застройки одновременно в качественном и количественном отношениях. Всё это приводит к ошибкам, которые трудно или вообще невозможно исправить после возведения зданий и городских построек, особенно в регионах с жарким климатом. Для выхода из этого положения архитектору-проектировщику необходимо иметь простые в применении, достаточно точные и пригодные для широкой практики методы учёта местных особенностей инсоляции и располагать некоторыми дополнительными данными.

Анализ существующих методов оценки режима инсоляции и способов соответствующего расчёта показывает, что круг решаемых ими задач ограничен лишь определёнными областями проектирования (в зависимости от поставленных архитектурно-строительных и градостроительных задач). На сегодня практически отсутствует универсальный метод, который бы позволял производить всестороннюю оценку как качественных, так и количественных показателей инсоляции. К качественным показателям инсоляции относится продолжительность биологического воздействия инсоляции, измеряемая в часах, а её количественным показателем, измеряемым в Вт/м^2, служит облучённость на поверхности, создаваемая параллельным пучком солнечных лучей, поступающих в помещения и на территорию застройки с направления, в котором виден в данный момент диск солнца.

В настоящее время известны два способа расчёта времени инсоляции: с помощью инсоляционного графика – вручную и с помощью специализированных компьютерных программ. Компьютерный способ позволяет точнее рассчитывать качественный показатель инсоляции, что очень важно для выполнения экспертных работ в случаях уплотнённой застройки, а ручной – простой, нетрудоёмкий и относительно точный способ оценки не только этого качественного показателя (при архитектурно-строительном

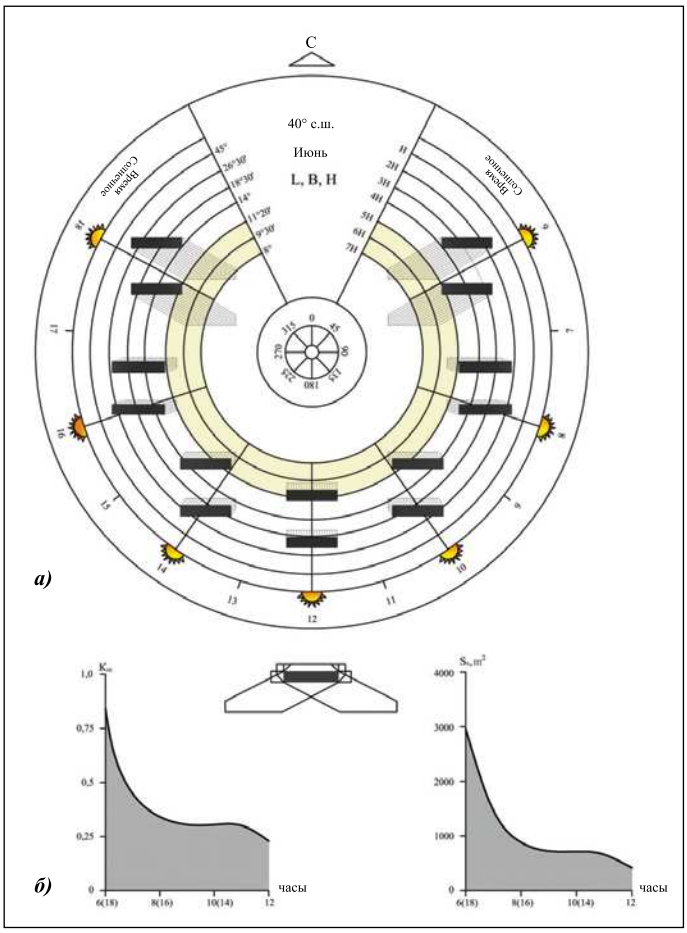


Рис. 1. ИПТ для оценки светотени от зданий широтной ориентации (*а*) и график коэффициента затенения в контуре междомовой территории $K_з$ (*б*) [$K_з = K_т / K_и$, $K_т = S_т / S_о$, $K_и = S_и / S_о$, где $S_и$, $S_т$ и $S_о$ – площади инсоляции, затенения и общая]

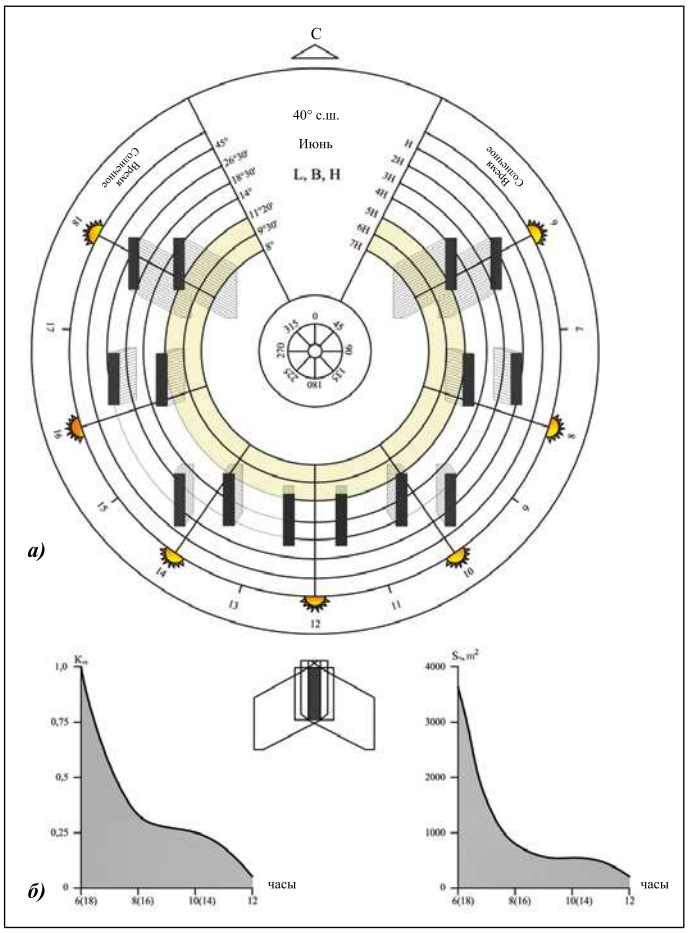


Рис. 2. ИПТ для оценки светотени от зданий меридиональной ориентации (*а*) и график коэффициента затенения в контуре междомовой территории (*б*) [$K_з = K_т / K_и$, $K_т = S_т / S_о$, $K_и = S_и / S_о$, где $S_и$, $S_т$, $S_о$ – площади инсоляции, затенения и общая]

проектировании), но одновременно и количественного показателя инсоляции объекта.

В этой связи способы расчёта, моделирующие естественный ход инсоляции на плане застройки, имеют практическое применение в градостроительном проектировании до настоящего времени. Они позволяют с помощью приборов планшетного типа определять как качественные, так и количественные инсоляционные показатели непосредственно на схеме плана застройки, выполненной в соответствующем масштабе.

Простым в применении прибором для определения значений качественного и количественного показателей инсоляции и зон затенения служит предлагаемая ИПТ, построенная на основе астрономических данных о положениях солнца и эталонов номограмм Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга.

Предлагаемая для практики проектирования ИПТ не претендует на универсальность применения. Расчёты, производимые с ИПТ, и приложенный к ней график интенсивности солнечной радиации не противоречат существующим методам оценки инсоляционного режима – с помощью разных графиков, планшетов и компьютерных расчётов.(Скорее они, напротив, восполняют отсутствие оценки «энергетической стороны» инсоляции).

Отличие расчёта показателей инсоляции с помощью ИПТ от других способов расчёта заключается в том, что ИПТ позволяет на плане разновысотной застройки прогнозировать инсоляционный режим в отношении светотени и производить «энергетический» расчёт.

Построение разрывов между зданиями, их сопоставление и анализ условий инсоляции территории и зданий на предлагаемой ИПТ позволяют сделать вывод, что при любой ориентации здания разрывы являются функцией площади конверта теней за нормативную продолжительность инсоляции (рис. 1 и 2).

Принцип построения и действия ИПТ обусловлен взаимодействием положения инсолируемого или затеняемого объекта на поверхности земли и хода солнца по небосводу в течение светового дня с 6 до 18 ч по солнечному времени. Построение конверта теней от зданий производится в период от восхода до заката солнца для разных географических районов на необходимые тёплый и холодный месяцы года, а также в период, предусмотренный в строительных и санитарных нормах.

ИПТ состоит из плоского прозрачного основания. Траектории движения солнца на необходимый месяц года в пределах азимута от 0 до 360° и положения инсолируемого объекта приведены в горизонтальную плоскость и выражены в круговом контуре центральной части ИПТ для периода светового дня.

В верхней части прибора нанесён указатель его направления на север при наложении прибора на схему застройки. Под указателем направления

Рис. 3. Шкала солнечно-декретного времени

приводятся географическая широта и параметры зданий –длина L, ширина B и высота H.

Основа ИПТ – круговая сетка, образованная несомкнутыми окружностями, нанесёнными с интервалом H, равным высоте затеняющего здания в масштабе чертежа. Справа от указателя направления отмечена длина радиусов неполных окружностей, кратных высоте затеняющего объекта (1H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H и 7H). Слева приводятся угловая высота стояния Солнца (45°, 26°30′, 18°30′, 14°, 11°30′ и 9°30′и 8°) в момент прохождения луча через вершину здания высотой H в центр прибора.

На ИПТ время инсоляции приведено по среднему солнечному времени. Перевод солнечного времени в декретное или наоборот для территории СНГ – по приведённой солнечно-декретной шкале (рис. 3).

Качественные показатели инсоляции территории застройки, фасадов зданий и помещений, а также построение конверта теней и площадь затенения определяются путём наложения прозрачной планшетки непосредственно на планы застройки.

Продолжительность теплового воздействия инсоляции с установлением количества приходящей энергии солнца определяется в соответствии с прилагаемым к ИПТ графиком (рис. 4).

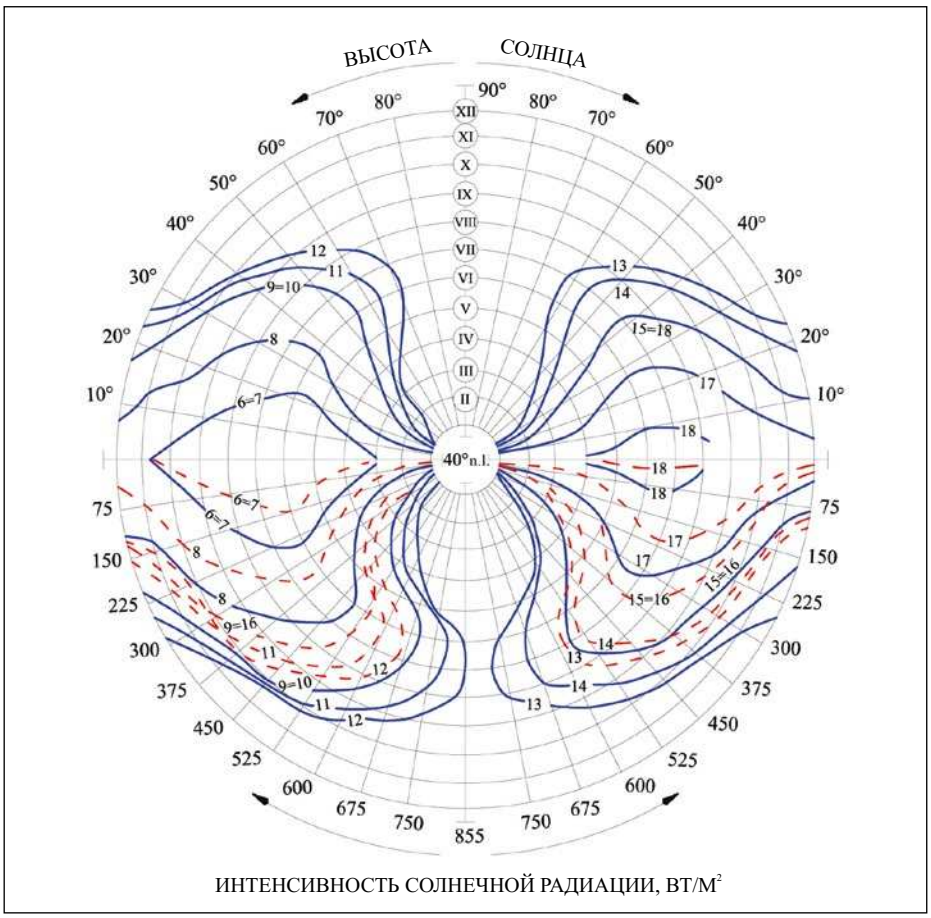


Рис. 4. Интенсивности суммарной (▬) и прямой (▬) солнечной радиации для 40° с.ш. в течение года с 8 до18 ч по солнечному времени, Вт/м²

ИПТ определяются показатели инсоляции и её воздействие на горизонтальные и вертикальные поверхности, ориентированные на азимуты от 0 до 360° и затеняемые зданиями, навесами, балконами и лоджиями.

Параметры, определяемые ИПТ при оценке инсоляции застройки: а) направление, площадь, время и продолжительность инсоляции и затенения; б) направление, площадь, время и продолжительность УФ воздействия инсоляции; в) направление, площадь облучения и затенения; г) направление, площадь, время, продолжительность теплового воздействия инсоляции, с установлением количества приходящей энергии солнца; д) места посадки деревьев и разных затеняющих устройств.

С помощью ИПТ визуально по планам застройки, выполненным в масштабе с 1:500 до 1:2000 (в жилом массиве и территории города) по высоте затеняющего объекта устанавливаются оптимальные ориентация зданий и величина разрывов между ними в застройке, а также планируется размещение спортивных и детских игровых площадок, проездов, дорожек, зелёных насаждений, зон отдыха, хозяйственных площадок и др.

За высоту здания при инсоляционных расчётах в равнинных условиях обычно принимают его размер от уровня земли до наивысшей отметки здания. Уровень земли под затеняющим зданием может быть (по отметкам горизонталей) выше или ниже исследуемой точки. В этом случае необходимо учитывать рельеф местности. За высоту затеняющего объекта следует принимать разность между наивысшей отметкой карниза затеняющего объекта и отметкой исследуемой точки.

Подбор необходимого прибора с определением расчётной высоты затеняющего здания – первое и обязательное условие, которое необходимо соблюдать при всех инсоляционных расчётах.

Точность оценки показателей инсоляции зависит от географической широты, масштаба чертежа, размера затеняющего объекта и направления меридиана ИПТ.

Предлагаемая ИПТ предназначена для прогнозирования режима инсоляции и выявления степени затенения

территории разновысотной застройки и зданий с целью оптимизации объёмно-планировочной структуры зданий и городских территорий, их благоустройства, озеленения и выбора солнцезащитных устройств.

Начальным этапом проектно-изыскательской работы по формированию планировочной схемы городской застройки с комфортной средой являются оценка, анализ и регулирование продолжительности инсоляции деятельного слоя застройки, являющегося определяющим климатообразующим фактором помещений и территории застройки.

Таким образом, экологическая ситуация территории городской застройки и зданий, возводимых в условиях жаркого климата, зависит от прогнозирования и оценки инсоляционного режима в качественном и количественном отношениях на стадии проектирования.

Разработанная ИПТ рекомендуется к применению в проектно-изыскательских работах при архитектурно-строительном проектировании зданий и в градостроительстве при разработке генпланов населённых пунктов, городов, схем планировочной организации земельных участков и при решении определённого круга задач по оценке инсоляционного режима.

Данная конструкция ИПТ с прилагаемым к ней графиком интенсивности солнечной радиации и методика пользования прибором были апробированы в ряде проектно-изыскательских и проектных работ и в учебной практике студентов архитектурно-строительных вузов, получив положительную оценку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев Н.М., Климов П.П.* Строительная физика. – М.: Госстройиздат, 1965. – 386 с.

2. *Дашкевич Л.Л.* Методы расчёта инсоляции при проектировании промышленных зданий. – М.: Гостройиздат, 1963. – 526 с.

3. *Дунаев Б.А.* Инсоляция жилища. –М.: Стройиздат, 1979. – 102 с.

4. *Olgyay V, Olgyay A*. Solar control and shading devices. – Princeton, New Jersey: Princeton university Press, 1957. – 325 p.

5. *Тваровский М.* Солнце в архитектуре (пер. с польского). – М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.

6. .СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076–01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий».

7. СанПиН 2.1.2.2645–10 «Санитарно–эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях».

8. СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные».

9. DIN5034–1:2005–02–16 «Daylight in interiors –Part 1: General requirements».

10. BS8206–2:2008 «Lighting for buildings. Code of practice for daylighting».

11.*Бахарев Д.В., Орлова Л.Н.* О нормировании и расчёте инсоляции // Светотехника. – 2006. – № 1. – С. 18–27.

12. Инсоляция помещений и территорий застройки: учеб. пособие / В.А. Каратаев [и др.]; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 64 с.

13. *Лециус Е.П.* Построение теней и перспективы ряда архитектурных форм: учеб. пособие – М.: Архитектура, 2005. – 144 с.

14. *Оболенский Н.В.* Архитектура и солнце. – М.: Стройиздат, 1988. – 207 с.

15. *Гиясов А.И.* Значение инсоляционного планшета для оценки инсоляционного режима городских территорий и зданий // Светотехника. – 2018. – № 5. – С. 68–71.

16. *Притыкин Ф.Н.* Виртуальное моделирование движений роботов, имеющих различную структуру кинематических цепей: Монография – Омск: Изд–во ОмГТУ, 2014. – 172 с.

17. *Притыкин Ф.Н., Шкуро Е.Ю.* Аналитический способ задания областей теней зданий и сооружений с целью определения оптимального их места расположения на заданной местности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 2.

18. *Хейфец А.Л.* Расчёт продолжительности инсоляции средствами 3D–моделирования пакета AutoCAD: сб. науч. тр. – Вып. 7. – Екатеринбург, 2004. –367 с.

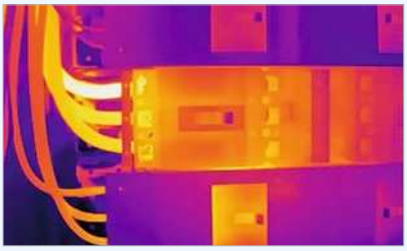
19. *Любимов А.* BIM – новые возможности платформы Revit // САПР и графика. 2007. – № 10. – С. 19–22.

20. СИТИС: Солярис 5.20. Расчёт инсоляции, КЕО и шумовых вибраций. Руководство пользователя. URL: http://www.sitis.ru/documentation/sitis-solaris.pdf (дата обращения: 10.08.2019).

Гиясов Адхам Иминжонович, *доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1975 г. Таджикский политехнический институт. Профессор кафедры «Проектирование зданий и сооружений» НИУ «МГСУ». Область научных интересов: энергоэффективные здания, архитектурно–строительная физика, инсоляция, аэродинамика, градоэкология*

Создан прозрачный для ИК излучения материал

Учёные из Дальневосточного федерального университета вместе с российскими и украинскими коллегами создали керамический материал на основе оксидов иттрия и магния с «шахматной» структурой, средним размером зерна 250 нм и микротвёрдостью более 11 ГПа. Он пропускает более 70 % излучения в ИК диапазоне.



Такие уникальные оптические свойства новому материалу придаёт субмикронный размер зёрен и равномерное их распределение в объёме. Кроме того, созданная российскими учёными керамика оказалась жаропрочной, твёрдой и хорошо проводящей тепло. По этим параметрам новый материал превосходит все однофазные коммерческие аналоги Y_2O_3 и $Mg\ O$.

Материал изготовлен из нанопорошков Y_2O_3 и MgO с контролируемым размером частиц. В ходе синтеза исходные вещества уплотнили с помощью искрового плазменного спекания. Этот метод позволяет подавить диффузионный массоперенос, тем самым подавив рост размера зёрен выше критического значения в 400 нм.

По словам авторов работы, керамические нанокомпозиты Y_2O_3–MgO относительно недавно нашли применение в качестве перспективных материалов с высокой механической и термоустойчивостью для работы в ИК диапазоне длин волн.

Созданная исследователями керамика обладает «шахматной» структурой, в которой объёмы фаз одинаковы, средний размер зёрен равен 250 нм, а микротвёрдость более 11 ГПа – в 10 раз больше самой твёрдой фазы чугуна. При этом оптическая «прозрачность» керамики на длине волны 6000 нм (ИК диапазон) – более 70 %.

Работа опубликована в журнале «*Ceramics International*». – 2019. – Vol. 45, Iss. 3.

nanonewsnet.ru
27.12.2019

BL
Group
Международная
светотехническая
корпорация
БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП
Россия, г. Москва, проспект Мира, 106
bl-g.ru
+7 (495) 785-20-95

СВЕТЛЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ УМНОГО ГОРОДА

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

Оценка аргентинских светодиодных светильников для уличного освещения[1]

П.Р. ИКСТЕНА, А.А. ПУЧЕТА, К.Л. КОЛОННА, Н. БУФО*

Лаборатория акустики и светотехники, Комиссия научных исследований, провинция Буэнос-Айрес, Аргентина

*E-mail: pixtaina@gmail.com

Аннотация

В работе представлена статистическая сводка результатов, полученных в результате фотометрических, термических, химических и механических испытаний, проведённых в Лаборатории акустики и светотехники (*Laboratorio de Acústica y Luminotecnia*) светодиодных светильников для уличного освещения в период 2017/18 года. Исследование охватывает 152 светильника и содержит образцы разного происхождения или от разных производителей, одного типа или модели (например, одного и того же корпуса) с различными вариациями светодиодных плат. Также описаны результаты расчётов яркости и освещённости, проведённых в переоборудованных установках (или на этапе тестирования). Представленные результаты важны как для импортёров и производителей светодиодных светильников, так и для проектировщиков и монтажников, поскольку они позволяют визуализировать моменты, которые заслуживают внимания, для получения продукта подходящего качества.

Ключевые слова: светодиоды, энергоэффективность, уличное освещение.

1. Введение

Новый План эффективного освещения (*PLAE*), разработанный Министерством энергетики и горнодобывающей промышленности при Президенте страны, предлагает замену светильников на более эффективные приборы со светодиодами. Он состоит из государственного финансирования перехода на светодиодные технологии, основной целью которого является снижение потребления уличного освещения. *PLAE* устанавливает технические параметры [1], которые определяют минимальные требования, которым должны соответствовать устанавливаемые приборы. Эти технические парамерты были получены в результате заседаний с различными людьми, работающими в этой сфере: Ассоциация Освещения Аргентины (*Asociación Argentina de Luminotecnia*), Заместитель Управления государственных служб провинции Буэнос-Айрес, национальные и провинциальные лаборатории и т.д. Параметры основывались на действующих национальных стандартах: *IRAM AADL* J2021, J2022, J2028, J2020 [2–5].

В связи с этим Лаборатория акустики и светотехники Комиссии научных исследований (*LAL–CIC*), как одна из авторитетных лабораторий для проведения технических испытаний, изучила значительную часть аргентинских и импортных образцов. В требования *PLAE* к традиционным фотометрическим, механическим, термическим и спектральным испытаниям были добавлены специальные испытания на продолжительность, термоустойчивость и цикличность, основанные на стандартах [2–5]. Полученные результаты отличаются друг от друга, подтверждая, что местные стандарты не сопоставимы с другими рынками.

2. Тесты, запрошенные в рамках *PLAE*

Необходимые испытания перечислены в Технических параметрах плана [1]. Они включают набор испытаний, взятых в основном из [2], которые приведены в табл. 1.

Кроме того, в соответствии со стандартом МЭК 62262–2002 [6] необходимо проверить ударную прочность покрытия: *IK* = 8 или выше для стёкол и *IK* = 10 или выше для полимеров.

Как видно из табл. 1, необходимые испытания являются типичными испытаниями, которые применяются в Аргентине. В этом смысле стоит отметить, что они, прежде всего, основаны на [2], первая версия которой была получена в 1974 году. Новый тип испытаний в *PLAE* – это тест на спад потока, в котором делается попытка оценить ожидаемую продолжительность работы светодиодного светильника и который далее описан в деталях.

3. Общие характеристики основных испытаний

3.1. Фотометрия и цветность

Фотометрическое испытание является традиционным в Аргентине. Такое нормирование берёт свои истоки в середине 70-х годов и основывается на [3]. Светодиодные светильники внесли два изменения в стандарт (2013 г.): использование абсолютных значений интенсивности и эффективности, а также параметры цветности и измерения при помощи спектрометра. На рис. 1 и 2 показано оборудование *LAL* и характерные результаты этих испытаний.

3.2. Испытания на качество краски

Испытание брызгами соли относится к *IRAM* 121 [7] от 1957 года. Испытание основано на старой версии *ASTM* 117 [8] и заключается в помещении всего образца в соляную среду для проверки уровня механической

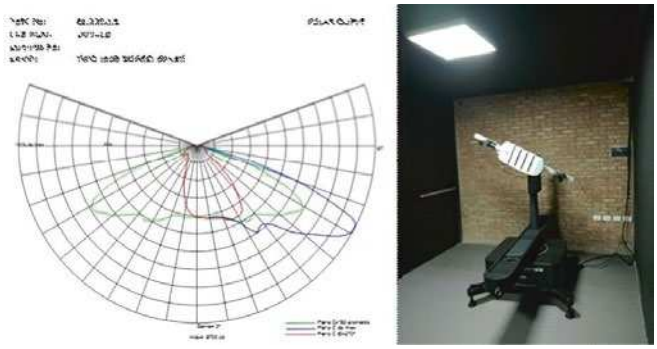


Рис. 1. Пример фотометрических результатов и оборудование *LAL*

[1] Перевод с англ. А.Ю. Басова

защиты, имеющейся за счёт защитных покрытий (красок). Требование регулируется продолжительностью теста: 240 ч – минимальное время, указанное *IRAM* для красок, хотя оно может быть увеличено до 500 или 1000 ч в особых ситуациях и/или по соглашению между поставщиками и покупателями (типичный случай – это установка в зонах морского побережья). Результат оценивается при осмотре: стандартные краски не допускают образования пузырей или подъём покрытия, а также ни в коем случае не допускают окисление или растрескивание основного материала. На рис. 3 изображено оборудование *LAL* и примеры исследуемых образцов.

В связи с этим испытанием затем следует испытание на передаточное сопротивление резьбовых деталей, которое заключается в практической проверке того, что анкерные или крепёжные винты могут быть без проблем удалены после воздействия солёной среды с использованием подходящих инструментов для этой работы.

В качестве дополнения проверяется адгезионная способность и стойкость к вдавливанию слоёв краски с целью определения качества покрытия и его фиксации на основании. В этом смысле некачественная краска или её плохое нанесение не гарантирует защиту, необходимую для материала с покрытием, и наносит ущерб сроку службы изделия.

3.3. Другие механические и электрические тесты

В испытании на вибрацию используется машина, способная вызвать ускорение в 2*g* в наиболее востребованной точке светильника в течение 100000 ± 1000 циклов на резонансной частоте, чтобы определить способность фиксации зажимов и механическое сопротивление всех компонентов светильника. На том же оборудовании действие вибрации с ускорением 4*g* в наиболее востребованной точке светильника позволяет определить поведение образца по отношению к случайным ударам во время его переноса и установки.

Также стоит отметить испытание на пыленепроницаемость и водонепроницаемость оптического отсека и поведение вспомогательного оборудования. Оба испытания предназначены для оценки сомкнутости разных отсеков, что напрямую связано с длительностью работы устройства. Этот тест (рис. 4), обычно известный как степень *IP*, также основан на более старом стандарте *IRAM* 2444 [9].

Наконец, отметим испытания, связанные с электробезопасностью: главный соединительный блок (*gear tray*) и проверка заземления. Последнее использует источник низковольтного постоянного тока, с помощью которого ток по меньшей мере 10 А циркулирует между клеммой заземления на главном соединительном блоке и каждой достижимой металлической частью. Значение сопротивления не должно превышать 0,20 Ом, что обусловливает учёт в конструкции проводов крышки и подвижных частей.

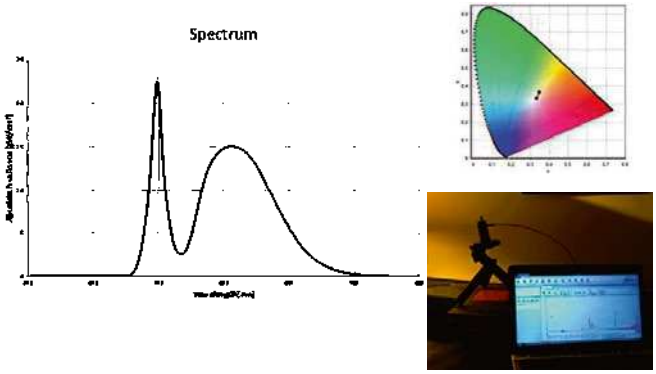


Рис. 2. Пример испытаний на цветность и спектр

Рис. 3. Оборудование *LAL* для испытаний брызгами соли и результаты (фотографии автора)

Рис. 4. Испытания на *IP* (слева) и непроницаемость (фотографии автора)

Рис. 5. Аспекты эксплуатационного испытания на 6000 ч (фотография автора)

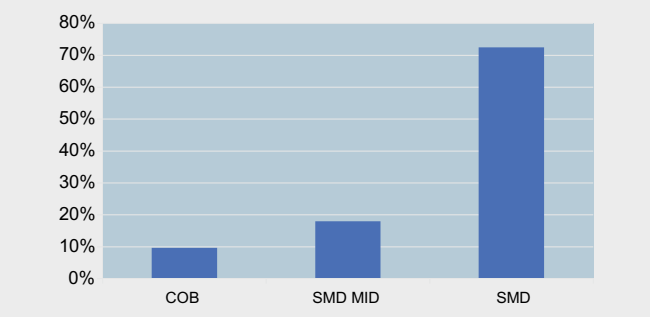


Рис. 6. Типы светодиодных технологий

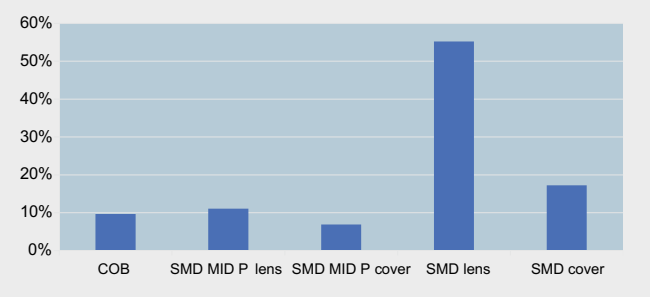


Рис. 7. Виды покрытий

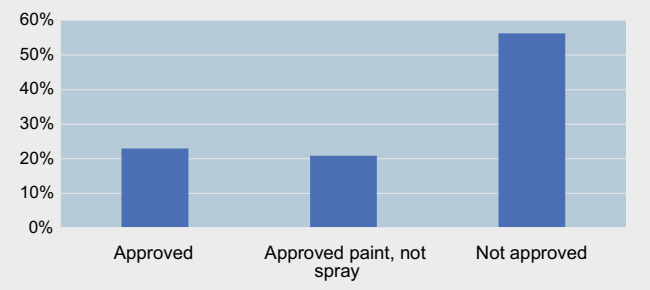


Рис. 8. Неудачи при брызгах соли и окраске

3.4. Оценка срока службы прибора

В этой проверке объединены три теста, на которые стоит обратить особое внимание, поскольку они являются эксклюзивными для светодиодных продуктов:

а. Термоустойчивость, которая заключается в нахождени светильника в течение часа при температуре –10 °С и сразу после этого при температуре 50 °С в течение часа. Цикл повторяется пять раз;

б. Испытания на 5000 циклов включения и выключения (оба по 30 с), которые проводятся после испытаний на термоустойчивость.

После завершения обоих испытаний светильник должен продолжать работать без видимого ущерба.

в. Спад светового потока во времени, оценка коррелированной цветовой температуры (КЦТ) и индекса цветопередачи *CRI*. Испытание заключается в осуществлении «старения» светильника посредством его непрерывной работы в течение 6000 ч (рис. 5) – периода, после которого происходит спад светового потока. Также проверяется изменение КЦТ относительно начального значения до старения.

4. Результаты

Стоит отметить распределение продукции в зависимости от различных светодиодных технологий для уличного освещения. На рис. 6 показано это распределение в общей сложности для 152 задействованных светильников (общее количество включает тот же тип или модель, но с разной мощностью или количеством светодиодов). Отмечаются следующие категории: *COB* (чип на плате), *SMD MID* (устройство поверхностного монтажа, поверхностная сборка, средняя мощность) или *SMD* (устройство поверхностного монтажа, высокая мощность).

Хотя национальная рекомендация по конструкции [4] предусматривает использование съёмных и сменных защитных покрытий, на рынке есть и другие варианты. Рис. 7 показывает соотношение между различными вариантами.

На рис. 7 обозначение *cover* соответствует случаю, когда действительно имеется взаимозаменяемое и независимое плоское закрытие линзы. Обозначение *lens* относится к отражателю с фокусирующими оптическими функциями, а также к тому, что он также является защитой светодиода, которую можно прикрепить/закрепить с помощью крепёжных элементов или винтов, и, хотя он может быть удалён, он не предназначен для замены.

В дополнение к распределениям, указанным на рис. 1 и 2, в табл. 2 показаны типичные диапазоны мощности для светодиодов и общие световые отдачи участвующих образцов. Значения в скобках соответствуют покрытиям из стекла. Стоит отметить, что последняя версия требований *PLAE* допускает минимальную световую отдачу, равную 105 лм/Вт, для светильников, имеющих защитное покрытие стекла или полимерный корпус, не содержащий линзу, и выше или равную 120 лм/Вт для светильников без него.

Испытания на защитное покрытие – краска и солевые брызги – относятся

к числу тех, согласно которым больше образцов не соответствует требованиям, установленным стандартом. Статистика показана на рис. 8.

В испытаниях краски недостаток адгезии был повторяющимся провалом. При брызгах соли (240 ч) наблюдалось появление пузырей, особенно в зонах рядом с зажимами или крепёжными элементами (соединения между алюминием и железными сплавами). В меньшей степени было обнаружено окисление основного материала или винтов.

Нарушения водонепроницаемости, в основном в корпусах для вспомогательного устройства, также были важны. В большинстве обнаруженных случаев системы открывания типа «без инструмента» (защёлкивающиеся крючки или скобы) не оказывали достаточного давления для обеспечения закрытия. Следует отметить тот факт, что светильники, закрывающиеся с помощью винтов, которые обеспечивают более простую и безопасную конструкцию для обеспечения герметичности, были многочисленными, хотя они не были учтены в стандарте *IRAM* [4].

Процент неудач в остальных испытаниях был ниже. Наблюдались следующие повторяющиеся проблемы:

- Неисправности (поломки) в стеклянных покрытиях во время теста *IK*8. Процент составлял менее 10 % исследованных образцов и в основном затрагивал плоские преломляющие стёкла, собранные без рамки;
- От 20 до 30 % с недостатками в проводке: отсутствие заземления, клеммная колодка с неадекватной маркировкой, отсутствие клеммы заземления;
- Примерно 30 % фотометров не подтвердили, что отношение в требованиях *PLAE* I_{max} / I_0 выше 2, и в равной степени цветовая температура вышла за пределы требуемого диапазона (3000–4500 K).

Таблица 1

Испытания *PLAE*

Требование и испытание	Описание
IRAM AADL J 2022–1	Фотометрия
4.1–3 и 5.1–3	Брызги соли для всего светильника (240 ч)
4.4 и 5.4	Передаточное сопротивление резьбовых деталей
4.6 и 5.6	Клейкость лакокрасочных покрытий
4.7 и 5.7	Устойчивость к вдавливанию лакокрасочных покрытий
4.8 и 5.8	Ускоренное термическое старение швов в эластомерном материале
4.10 и 5.10	Вибрация
4.11 и 5.11	Ударное воздействие
4.12 и 5.12	Пластическая деформация элементов в пластиковом материале
4.13 и 5.13	Сопротивление кручению светильников с резьбовым соединением
4.14 и 5.14	Сопротивление кручению светильников бокового соединения
4.15 и 5.15	Система фиксации подвешенных светильников
4.20 и 5.20	Термоудар для стеклянных крышек
4.22 и 5.22	Сопротивление раздавливанию в плоскостях смыкания
4.24–25 и 5.24–25	Водонепроницаемость и пыленепроницаемость корпуса прибора
4.24–25 и 5.24–25	Водонепроницаемость и пыленепроницаемость оптического отсека
4.27 и 5.27	Главный соединительный блок
4.29 и 5.29	Град
4.39 и 5.39	Заземление
Дополнительное испытание	Термическая нагрузка
Дополнительное испытание	Цикл зажигания
Дополнительное испытание	Затухание светового потока во времени, оценка КЦТ и индекса цветопередачи
Дополнительное испытание	Определение веса всего светильника

4.1. Результаты в установках

Здесь мы упоминаем только пару случаев в рамках технической помощи, оказанной *LAL* муниципалитетам из провинции Буэнос-Айрес. В этих исследованиях существовала возможность проводить стандартизированную оценку [10] новой установки (со светодиодными светильниками) и зон с предыдущей системой (с натриевыми лампами высокого давления). Следует отметить, что первоначальная установка существует с 90-ых годов с минимальным обслуживанием. В табл. 3 показаны эти результаты. Аналогичная информация содержится в [11] для случаев с автомагистралями и обратными преобразованиями, проведёнными в предыдущие периоды.

5. Заключение

Полный анализ результатов и происхождения тестируемых продуктов позволяет сделать следующий вывод: местные стандарты в отношении глобальной защиты продуктов (краска и устойчивость к коррозии) выше средних показателей для других продуктов на рынке. Кроме того, наблюдается чрезмерное внимание к присвоению высоких *IP* (66), которые часто не выполняются в плоскостях смыкания.

Наконец, остаётся спорной важность установления требований к качеству, таких как требования *PLAE* [1], поскольку в некотором роде они устанавливают методические рекомендации с последующими частными техническими спецификациями от разных покупателей (ратуша, ко-

Таблица 2

Типичные значения мощности и эффективности

Технология	Мощность светодиода (Вт)	Световая отдача (лм/Вт)
COB	34–66	110–150
SMD MID	0,26–0,95	108–141
SMD	2,2–3,3	120–155

Таблица 3

Оценка установки

Установка	$E_{ср}$, лк	Мощность, Вт	Плотность нормированной мощности (Вт/м²лк) (6×39м)
Первоначальная (НЛВД 250)	7,6	2×250 = 500 +10 % = 550	0,310
Преобразованная (LED150)	27,1	2×150 = 300	0,047
Установка	**$E_{ср}$, лк**	**Мощность, Вт**	**Плотность нормированной мощности (Вт/м²лк) (7×30м)**
Первоначальная (НЛВД 250)	18,6	1×250 = 250 +10 % = 280	0,072
Преобразованная (LED148)	32,0	1×139 = 139	0,021

оперативы и т.д.). Финальный тест преобразованной установки не настолько обобщён (оценка освещённости согласно стандарту); и это является очень важным моментом, который необходимо принимать во внимание, чтобы действительно улучшить систему освещения.

Благодарности

Авторы выражают благодарность *CIC PBA*, в которой П.Р. Икстена является членом исследовательского центра, Н. Буфо и А.А. Пучета являются вспомогательным персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. República Argentina. Ministerio de Energía y Minería (2018). Especificación Técnica para la adquisición de luminarias LED para Alumbrado Público. (Argentinian Republic. Ministry of Energy and Mining (2018). Technical Specification for the acquisition of LED Street Lighting luminaires (https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/especificaciones_tecnicas_2.pdf).

2. NORMA IRAM-AADL J 2021 (2015). Alumbrado público. Luminarias para vías de tránsito. Requisitos y métodos de ensayo. (IRAM-AADL J 2021 Standard (2015). Street lighting. Luminaires for traffic routes. Requirements and test methods).

3. NORMA IRAM-AADL J 2022–1 (2013). Alumbrado público. Luminarias. Clasificación fotométrica. (IRAM-AADL J 2022–1 Standard (2013). Street lighting. Luminaires. Photometric classification).

4. NORMA IRAM-AADL J 2020–4 (2014). Luminarias para vías públicas. Características de diseño. Luminarias LED. (IRAM-AADL J 2020–4 Standard (2014). Luminaires for public roads. Design features LED luminaires).

5. NORMA IRAM-AADL J 2028 (1987). Luminarias. Requisitos generales y métodos de ensayo. (IRAM-AADL J 2028 Standard (1987). Luminaires General requirements and test methods).

6. IEC62262 Ed. 1.0 b (2002). Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code).

7. Norma IRAM 121 (1957). Ensayo de revestimientos. Prueba de exposición a la niebla de sal. (IRAM 121 Standard (1957). Coatings test. Exposure test to salt fog).

8. ASTM B117 (2016). Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

9. Norma IRAM 2444 (1982). Grados de protección mecánica proporcionada por las envolturas de equipos eléctricos. (IRAM Standard 2444 (1982). Degrees of mechanical protection provided by the wrappings of electrical equipment).

10. NORMA IRAM-AADL J 2022–2 (2013). Alumbrado público. Vías de tránsito. Clasificación y niveles de iluminación. (IRAM-AADL J 2022–2 Standard (2013). Street lighting. Traffic routes. Classification and lighting levels).

11. *Ixtaina P., Armas A., Bannert B., Bufo N.* Iluminación led en autopistas argentinas // Memorias del XIII Congreso Panamericano de Iluminación LUXAMÉRICA,– 2016. – С. 192–196.

Пабло Р. Икстена, *профессор Национального и Технологического Университетов Ла-Платы (Аргентина). Научный сотрудник Комиссии научных исследований (Буэнос-Айрес). Директор Лаборатории акустики и светотехники LAL, Буэнос-Айрес. Является членом комиссии «Общественное освещение» (IRAM). Имеет около 40 публикаций*

Агустин А. Пучета, *инженер-электромеханик Национального Университета Ла-Платы. Учёный Комиссии научных исследований CIC. Закончил аспирантуру в Национальном Университете Ла-Платы, проходил практику в лаборатории LMT (Берлин, Германия). В настоящее время занимается исследованиями в области светотехники в Лаборатории акустики и светотехники CIC*

Карлос Л. Колонна, *инженер по электронике Национального Университета Ла-Платы, докторант CIC. Закончил аспирантуру в Национальном Университете Ла-Платы. В настоящее время занимается исследованиями в области светотехники в Лаборатории акустики и светотехники CIC*

Николас Буфо, *техник CIC. В настоящее время занимается исследованиями в области светотехники в Лаборатории акустики и светотехники CIC*

Расчёт полных объёмных коэффициентов излучения разрядных ламп высокой интенсивности[1]

Р.А. ЮССИФ[1], А. САХАБ[2], Ж. ЦИССИС[2], В. МАЛЕБ[1], М. ХАМАДИ[1,3,4]

[1] Бейрутский арабский университет, Бейрут, Ливан
[2] Тулузский университет, Тулуза, Франция
[3] Ливанский университет, Бейрут, Ливан
[4] E-mail: hamadymohamad@gmail.com

Аннотация

Интерес к исследованиям ламп высокой интенсивности сохраняется несмотря на появление других источников света, таких как светодиоды. Основные уравнения и численные зависимости позволяют рассчитать важные параметры, такие как полный объёмный коэффициент излучения[2], который имеет важное значение для понимания излучательных характеристик этих ламп. Эти лампы относят к лампам высокого давления, и содержащаяся в них плазма находится в состоянии локального термодинамического равновесия. Объём лампы делят на мелкие ячейки, количество которых является компромиссом между точностью результатов и затрачиваемым на расчёты временем. Каждая из ячеек характеризуется своими собственными объёмными коэффициентами поглощения и излучения, соответствующими положению этой ячейки в разряде. Контур спектральной линии определяют посредством совмещения двух кривых: Лоренца и квазистатической. Для описания переноса видимого и УФ излучения используется метод трассировки лучей, позволяющий рассчитать значения полного объёмного коэффициента излучения чисто ртутного разряда и сравнить полученные результаты с результатами, полученными другими методами. Определены также и другие фотометрические характеристики ламп.

Ключевые слова: разряд высокой интенсивности (РВИ), перенос излучения, трассировка лучей, полный объёмный коэффициент излучения, уширение спектральных линий, локальное термодинамическое равновесие, интенсивность, поток, световой поток, световая отдача, коррелированная цветовая температура.

1. Введение

Лампы высокой интенсивности (ЛВИ) представляют собой компактные газоразрядные лампы (длиной 1–100 мм или более), работающие при давлении примерно 1 атм или большем. Эти лампы представляют большой интерес, т.к. их используют в самых разных областях применения, таких как видеопроекторы и телевизионные проекционные системы [1]. Эти лампы являются прекрасными генераторами самого разного излучения, и в настоящий момент их нельзя заменить источниками света других типов, например, светодиодами.

Излучение является одним из трёх механизмов передачи энергии, и применительно к формированию непрерывного и линейчатого спектров его можно считать результатом нескольких процессов излучения и поглощения, протекающих в разряде высокого давления. Характеристики этих спектров зависят от параметров электрического разряда, таких как размеры, температура, давление и состав. Знание излучательных характеристик является ключом к количественному описанию энергообмена. При численном моделировании этот энергообмен рассматривается на основе дивергенции потока излучения, которая описывает перенос энергии в плазме излучением, но от этого можно с лёгкостью отказаться, воспользовавшись «полным объёмным коэффициентом излучения – ПОКИ» (*Net Emission Coefficient*) [2], который также можно использовать для описания баланса энергии.

До сих пор, точным и недорогим способом определения ПОКИ в случае ламп высокого давления считалось компьютерное моделирование. В то же время, невозможно найти точное аналитическое решение очень нелинейного интегро-дифференциального уравнения переноса излучения [3]. На протяжении нескольких десятилетий предпринимались попытки исследовать это хорошо известное явление посредством формального описания процесса генерации излучения [4]. При помощи этих методов и результатов расчётов определяли значения ПОКИ [5] и парциальных характеристик [6], а в [7] была предложена диффузная аппроксимация.

Существуют и другие, а не только полуэмпирические, методы расчёта ПОКИ [8, 9]. Кроме того, в [10] расчёт ПОКИ был проведён методом дискретных ординат, который с большой точностью использовался применительно к решению многих задач переноса излучения и который является аналогом разбиения объёма на конечные элементы в векторном пространстве. В данной работе использовался другой метод расчёта этого коэффициента, основанный на трассировке лучей и осознании того, что до сих пор этот метод не был использован для прямых расчётов ПОКИ.

Поэтому мы сконцентрировали свои усилия на расчёте методом трассировки лучей мощности, излучаемой лампами высокого давления, а так как характеристики ртути хорошо известны, то в качестве объекта исследований был выбран чисто ртутный разряд.

При проведении расчётов считалось, что разряд обладает цилиндрической симметрией и что плазма находится в состоянии локального термодинамического равновесия. Для расчёта состава плазмы (локальных значений объёмных коэффициентов излучения и поглощения) и для учёта механизмов уширения спектральных линий достаточно знать распределение температуры и давление. В рамках этого метода разряд разбивают на

---

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

[2] Во избежание совпадения с принятыми в светотехнике терминами, которые имеют несколько другой смысл, использовавшиеся в оригинале термины «*emission coefficient*» и «*absorption coefficient*» переводились, соответственно, как «объёмный коэффициент излучения» и «объёмный коэффициент поглощения» (см. *Тимофеев Ю.М., Васильев А.В.* Основы теоретической атмосферной оптики. Учебно-методическое пособие. СПб., 2007. – 152 с.). – Прим. пер.

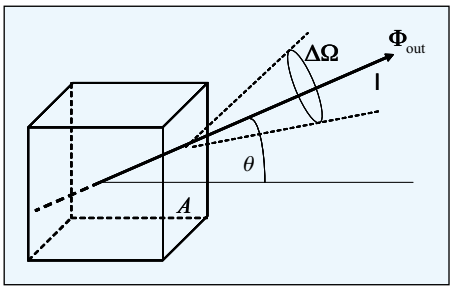


Рис. 1. Поток, выходящий из излучающей ячейки

элементарные ячейки, испускающие лучи во всех направлениях, и уравнение переноса излучения решают для каждого из лучей. Если поглощение отсутствует во всех ячейках разряда, то ПОКИ равен локальному объёмному коэффициенту излучения ε. Однако при наличии поглощения ПОКИ и ε отличаются друг от друга, что подтверждает важность данного исследования, посвящённого определению ПОКИ и фотометрических характеристик ламп.

2. Перенос излучения

Переносимое в плазме излучения вносит вклад в баланс энергии в разряде. Уравнение переноса излучения описывает изменение спектральной интенсивности излучения (*intensity*)[3] I_λ, Вт·м$^{-3}$·ср$^{-1}$ вдоль траектории x. Если среда излучает и поглощает излучение без рассеяния, то уравнение переноса излучения имеет вид:

$$\frac{dI_\lambda}{dx} = \varepsilon_\lambda(\lambda, x) - \kappa(\lambda, x) I_\lambda, \qquad (1)$$

где $\varepsilon_\lambda(\lambda, x)$ – локальный спектральный объёмный коэффициент излучения, Вт·м$^{-4}$·ср$^{-1}$, $\kappa(\lambda, x)$ – локальный объёмный коэффициент поглощения, м$^{-1}$. Для спектральной линии, соответствующей переходу между атомными уровнями u и l, ε_λ рассчитывают, исходя из состава плазмы, как:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{hc}{4\pi} \frac{A_{ul}\, n_u P(\lambda)}{\lambda_0}, \qquad (2)$$

[3] В работах, посвящённых переносу излучения, используется именно термин «интенсивность», хотя с точки зрения светотехники соответствующий параметр в данном случае правильнее было бы назвать «объёмная плотность силы излучения». – Прим. пер.

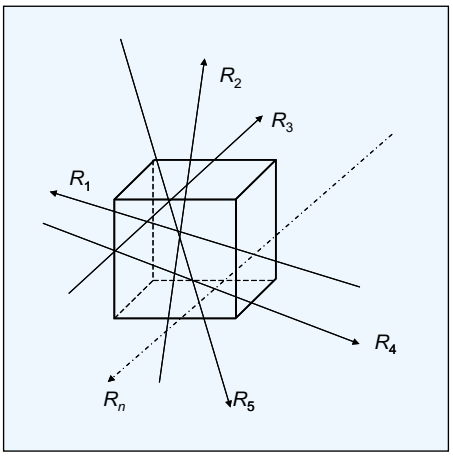


Рис. 2. Каждый из лучей теряет в ячейке энергию

где $P(\lambda)$ – нормализованный контур спектральной линии.

Так как давление внутри ЛВИ довольно большое, то допущение о наличии локального термодинамического равновесия можно считать справедливым, и для расчёта κ можно воспользоваться функцией B_λ (уравнение Планка):

$$\kappa(\lambda, T) = \frac{\varepsilon_\lambda(\lambda, T)}{B_\lambda(T)}, \qquad (3)$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\left[\exp\left(\frac{\mathrm{hc}}{\lambda \mathrm{kT}}\right) - 1\right]^{-1}. \qquad (4)$$

Решение уравнения переноса излучения невозможно без знания состава плазмы. В случае ЛВИ состав рассчитывают в предположении наличия локального термодинамического равновесия и постоянства давления во всём разряде. Давление и локальная температура определяются на основе результатов спектральных измерений. Распределение температуры в поперечном сечении разряда аппроксимируют следующей формулой:

$$T(r) = T_c - (T_c - T_w)\left(\frac{r}{R}\right)^\beta, \qquad (5)$$

где T_e и T_w – температура на оси разряда и на стенке колбы лампы соответственно, β – параметр, описывающий радиальное распределение температуры, R – радиус колбы лампы.

Применив уравнения состояния для идеального газа (уравнения Больцмана и Саха), можно рассчитать состав плазмы разряда. С другой стороны, применительно к контурам спектральных линий учитывают только обусловленное давлением уширение (допплеровское уширение считают пренебрежимо малым). Обусловленное давлением уширение возникает в результате столкновений излучающих атомов с другими атомами (ван-дер-ваальсовое или резонансное уширение) или с заряженными частицами (штарковское уширение). С случае ударной аппроксимации обусловленное давлением уширение описывается функцией Лоренца:

$$P(\lambda) = \frac{\Delta\lambda_{1/2}}{\pi} \frac{1}{(\lambda - \lambda_o - \Delta)^2 + (\Delta\lambda_{1/2})^2}, \qquad (6)$$

где

$$\Delta\lambda_{1/2R} = C_R N,\ \Delta\lambda_{1/2S} = C_S N_e,$$
$$\Delta_S = 0.87\Delta\lambda_{1/2S},\ \Delta\lambda_{1/2W} = C_W N,$$
$$\Delta_W = 0.36\Delta\lambda_{1/2W},$$

а символами R, S и W обозначены, соответственно, резонансное, штарковское и ван-дер-ваальсовское уширение.

Результирующий контур спектральной линии получают посредством совмещения лоренцовского (уравнение (6)) и квазистатического (символ QS, уравнение (7)) контуров. Атомные константы и константы уширения для спектральных линий ртути были взяты из [8].

$$P_{QS}(\lambda) = \begin{cases} \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\Delta\lambda_{QS}}{(\lambda - \lambda_0)^3}} \cdot \\ \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4}\frac{\Delta\lambda_{QS}}{\lambda - \lambda_0}\right) \ if\ \lambda \succ \lambda_0 \\ 0 \quad if\ \lambda \le \lambda_0 \end{cases}, \qquad (7)$$

где $\Delta\lambda_{QS} = C_{QS} * N^2$.

Для описания переноса излучения внутри лампы её объём разделяют на маленькие кубические элементы, каждый из которых испускает N изотропных лучей. До того, как лучи покинут разделённую на ячейки систему, каждый из них пройдёт через разные элементарные единицы объёма лампы. При этом рассчитывают и запоминают как индексы всех преодолённых лучом элементарных объёма, так и расстоя-

ния, которые луч прошёл в каждом из этих объёмов.

В выходной поток излучения вносят вклад все лучи. Поток излучения, выходящий с каждым из лучей из излучающего элементарного объёма, рассчитывают по формуле:

$$\Phi_{out} = I \cdot \Delta A \cdot \cos\theta \cdot \Delta\Omega, \qquad (8)$$

где ΔA – площадь пересечённой лучом поверхности, $\Delta\Omega$ – телесный угол, θ – угол между лучом и нормалью к поверхности A, I – интенсивность выходящего из элементарного объёма излучения (рис. 1).

В разделённой на ячейки системе интенсивность выходящего из неё излучения определяют интегрированием описываемого формулой (9) решения уравнения переноса излучения. Учитывая, что все конечные объёмы «i» считаются однородными, интенсивность излучения I в направлении распространения луча в точке границы P можно записать в следующем виде:

$$I_\lambda(\lambda, x_{i+1}) = I_\lambda(\lambda, x_i)\exp(-\kappa(\lambda,i)\Delta x_i + \\ + \frac{\varepsilon_\lambda(\lambda,i)}{\kappa(\lambda,i)}(1-\exp(-\kappa(\lambda,i)\Delta x_i)), \qquad (9)$$

где Δx_i – расстояние, пройденное в i-м конечном объёме.

Луч пересекает все расположенные на его пути ячейки. Выходящий из ячейки поток излучения Φ_{out} является входным потоком излучения Φ_{in} для следующей пересекаемой лучом ячейки, и перед тем, как выйти из этой следующей ячейки, этот поток будет частично поглощён. Так что поток излучения Φ_{out}, вышедший из следующей пересечённой лучом ячейки, будет равен

$$\Phi_{out} = \Phi_{in} \cdot \exp(-\kappa \cdot \Delta x), \qquad (10)$$

где Δx – расстояние, пройденное лучом, κ – объёмный коэффициент поглощения пройденной ячейки. При этом поглощённый в ячейке поток равен

$$\Phi_{absorbed} = \Phi_{in} - \Phi_{out}. \qquad (11)$$

Для следующей ячейки описываемая уравнением (10) величина Φ_{out} является входным потоком Φ_{in}. Расчёт Φ_{out} по (10) и $\Phi_{absorbed}$ по (11) продолжают для каждой пересечённой ячейки до тех пор, пока луч не выйдет за пределы лампы. В этот момент значение Φ_{out}, которое соответствует вкладу рассматриваемого луча в полный поток излучения, сохраняют в памяти. После этого выбирают другой луч, и расчёты повторяют до тех пор, пока из всех ячеек не выйдут все лучи. В результате каждая входящая в систему ячейка пересекается разными лучами, и каждый из этих лучей теряет в каждой ячейке определённый поток излучения $\Phi_{absorbed}$ (рис. 2).

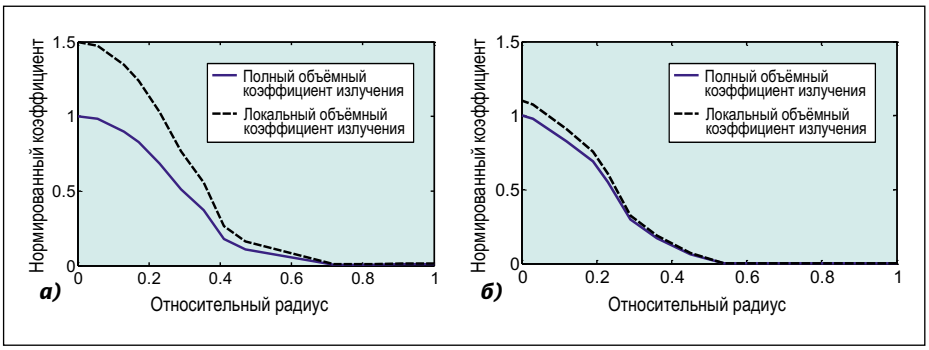


Рис. 3. Сравнение локального и полного объёмных коэффициентов излучения для длин волн 435 нм (а) и 577 нм (б)

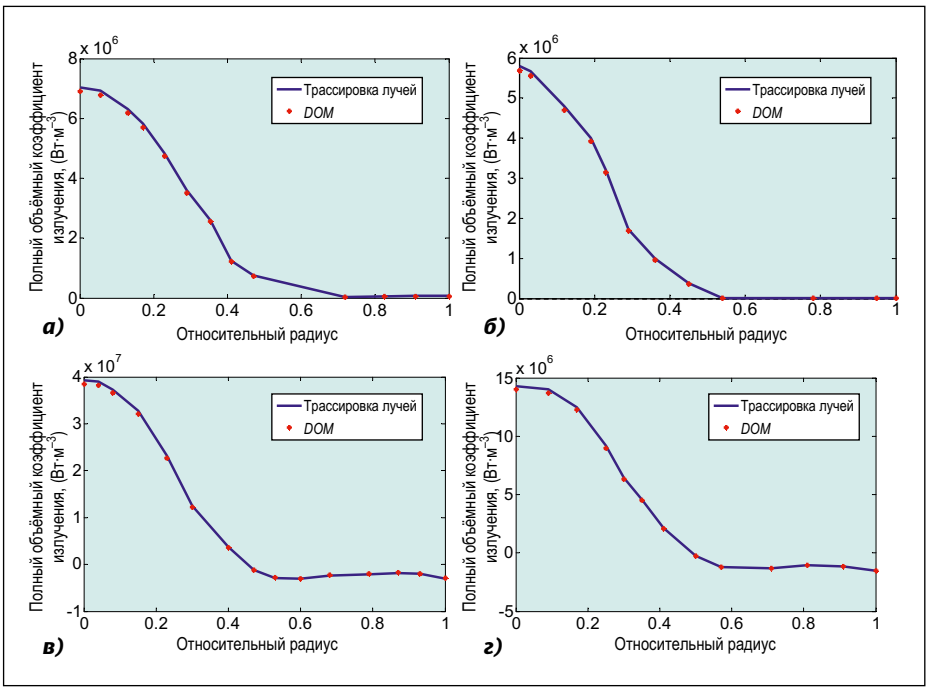


Рис. 4. Хорошее совпадение результатов, полученных методами трассировки лучей и методом *DOM* для длин волн 435 нм (*а*), 577 нм (*б*), 185 нм (*в*) и 254 нм (*г*)

Затем по формуле (12) рассчитывают полный объёмный коэффициент излучения:

$$\varepsilon_N = \varepsilon - \frac{\sum \Phi_{absorbed}}{4\pi.\Delta V}, \qquad (12)$$

где ε – локальный объёмный коэффициент излучения ячейки, ΔV – объём ячейки.

Полный поток излучения лампы при этом равен

$$\Phi_T = \sum_{n=1}^{N}\sum_{k=1}^{nb_z}\sum_{j=1}^{nb_y}\sum_{i=1}^{nb_x}\Phi_{out}, \qquad (13)$$

где nb_x, nb_y и nb_z – количества ячеек вдоль осей x, y и z соответственно, N – общее количество лучей, выходящих из каждой из ячеек.

В результате световой поток оказывается равным

$$\Phi_{vis} = K_m \int_\lambda V(\lambda)\Phi_\lambda(\lambda)d\lambda, \qquad (14)$$

где $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения в условиях дневного зрения, K_m = 683 лм/Вт. Световая отдача при этом равна

Таблица

Характеристики исследовавшегося разряда

T_C, K	T_W, K	R, см	β	Давление, атм
6000	1000	0.78	2,2	3

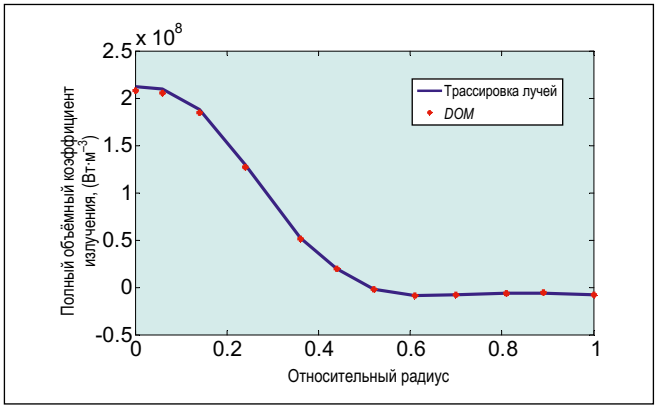


Рис. 5. Хорошее совпадение полных объёмных коэффициентов излучения, полученных методами трассировки лучей и методом *DOM* для всех длин волн

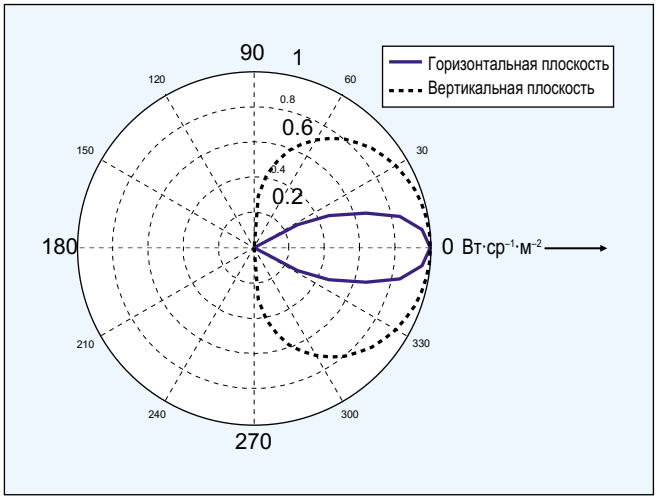


Рис. 6. Нормированные кривые интенсивности излучения лампы

$$\eta = \frac{\Phi_{vis}}{P_{electric}}, \qquad (15)$$

где $P_{electric}$ – подводимая к лампе электрическая мощность. Зная соответствующий каждой из спектральных линий поток излучения, можно рассчитать коррелированную цветовую температуру и координаты цветности.

3. Результаты и обсуждение

В данной работе было проведено исследование ртутной ЛВИ, которая представлена в виде разряда цилиндрической формы, разделённого на небольшие ячейки. Работа состояла из трёх этапов. На первом этапе цилиндр был разделён на 35 ячеек в радиальном направлении и 15 ячеек в продольном (осевом) направлении. В [12] из каждой из ячеек исходили по 100 лучей, однако ранее нами было установлено, что достаточно и 62 лучей [13]. В результате был достигнут хороший компромисс между проведёнными в [12] расчётами и затрачиваемым на расчёты временем. В конце этого этапа в отдельном файле были сохранены расстояния, пройденные лучами в излучающих и пересечённых ячейках, а также телесные углы и площади поверхностей, пересечённых лучами в пределах соответствующих телесных углов.

На втором этапе каждой из ячеек было поставлено в соответствие определённое значение температуры. В результате расположенные в осевом направлении ячейки имели одну и ту же температуру, тогда как распределение температуры ячеек, расположенных в радиальном направлении, имело параболическую форму, описываемую уравнением (5). На основе этих известных значений температуры были рассчитаны локальные объёмные коэффициенты излучения и поглощения.

На третьем этапе было проведено решение уравнения переноса излучения, что позволило при помощи уравнений (8) – (15) получить искомые результаты. Подобная методика расчётов позволяет получить результаты быстрее, чем при использовании других методов. Например, изменение состава плазмы приводит к изменению второго этапа без каких бы то ни было изменений первого этапа, тогда как при использовании других методов расчёты приходится начинать с самого начала.

В данной работе расчёты проводились применительно к разряду, известному как стандартный разряд (*standard conditions discharge*). Этот разряд характерен для ртутных ламп высокого давления, которые используются в качестве источников света. Характеристики этого разряда приведены в таблице.

ПОКИ отражает разницу между энергией, излучённой ячейкой, и поглощённой в этой ячейке энергией. Поэтому для каждой из ячеек важно провести сравнение значения ПОКИ и энергии, соответствующей локальному объёмному коэффициенту излучения, так как это позволяет убедиться в том, что поглощение имеет место во всех ячейках и что используемый метод работает удовлетворительно. А для этого необходимо сравнить результаты расчётов, проведённых при помощи уравнений (2) и (12). Результаты подобных расчётов, проведённых применительно к спектральным линиям с длинами волн 435 и 577 нм, представлены на рис. 3. Несмотря на то, что доля поглощённого излучения не остаётся постоянной, представленные графики позволяют с лёгкостью судить о влиянии поглощения в случае рассматриваемых спектральных линий. Аналогичное поведение наблюдается и в случае других спектральных линий.

В [10] результирующие значения ПОКИ были определены посредством суммирования значений ПОКИ, рассчитанных методом *DOM* для всех линий, излучаемых разрядом. Полученные результаты были сопоставлены с результатами расчётов по формуле Стромберга. Полученные ре-

зультаты оказались сравнимыми, так что для оценки результатов данной работы достаточно сравнить их с результатами, полученными при использовании одной из этих моделей. Так что значения ПОКИ для каждой из спектральных линий были рассчитаны для стандартного разряда (см. таблицу) и сопоставлены с результатами, полученными в [10] применительно к этому же разряду. Эти результаты хорошо согласуются друг с другом, что ясно видно на рис. 4.

Результирующие ПОКИ (*total NEC*) были рассчитаны для всех спектральных линий разряда, которые приведены в [8]. При этом полученные значения результирующих ПОКИ хорошо согласуются с данными, приведёнными в [10] (рис. 5).

Основной целью этой работы были расчёт значений ПОКИ и сравнение их с результатами, полученными при использовании других моделей, с тем, чтобы создать новый инструмент для расчёта этого параметра в будущем. При этом предложенный метод позволяет определить не только ПОКИ, но и спектральные данные, которые лежат в основе расчётов фотометрических характеристик любых ламп [11, 13]. Например, в случае рассмотренного стандартного разряда вначале при помощи уравнения (13) производится расчёт спектрального распределения потока излучения разряда, после чего при помощи уравнения (14) определяется значение светового потока. Что касается световой отдачи, то расчёты, проведённые при помощи уравнения (15), показали, что она равна 50 лм/Вт. Коррелированная цветовая температура излучения разряда оказалась равной примерно 5500 К. Эта цветовая температура воспринимается как сине-белый цвет, характерный для чисто ртутных ЛВИ. Нормированные кривые интенсивности излучения лампы в горизонтальной и вертикальной плоскостях приведены на рис. 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Derra, G., Moench, H., Fischer, E., Giese, H., Hechtfischer, U., Heusler, G., Koerber, A., Niemann, U., Noertemann, F.-C., Pekarski, P., Pollmann-Retsch, J., Ritz, A., Weichmann, U.* UHP lamp systems for projection applications // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2005. – Vol. 38, No. 3. – P. 2995–3010.

2. *Cressault, Y., Teulet, P., Zissis, G.* Radiative properties of ceramic metal-halide high intensity discharge lamps containing additives in argon plasma // Japanese Journal of Applied Physics. – 2016. – Vol. 55, No. 7S2. – P. 07LB05.

3. *Simonet, F., Aubes, M., Elloumi, H., Sarroukh, H.* Optimization of the spectral flux computation for cylindrical discharges // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1999. – Vol. 61, No. 2. – P. 197–207.

4. *Lochte-Holtegreven, W.* Plasma Diagnostics. – North Holland Publishing Company, 1968.

5. *Leibermann, R.-W., Lowke, J.-J.* Radiation emission coefficients for sulfur hexafluoride are plasmas // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1976. – Vol. 16, No. 3. – P. 253–264.

6. *Sevast'yanenko, V.-G., Soloukhin, R.-I., Golovnev I.-F., Zamurayev, V.-P., Katsnel'son, V.-P., Koval'skaya, G.-A., Goulard, R.* Radiative Heat Transfer in High Temperature Gases. –Springer, 1987.

7. *Lowke, J.-J., Capriotti, E.-R.* Calculation of temperature profiles of high pressure electric arc using the diffusion approximation for radiation transfer // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1969. – Vol. 9, No. 2. – P. 207–236.

8. *Stromberg, H.-P., Schafer, R.* Time-dependent behaviour of high-pressure mercury discharges // Journal of Applied Physics. – 1983. – Vol. 54, No. 8. – P. 4338.

9. *Jones, B.-F., Mottram, D.-A.-J.* A semi-empirical formula to describe the net emission coefficient of self-absorbed spectral lines for use in modeling high-pressure discharge lamps // Journal of Physics D: Applied Physics. – 1981. – Vol. 14, No. 7. – P. 1183

10. *Bouaoun, M., Elloumi, H., Charrada, K., Rhouma, B.-E.-H., Stambouli, M.* Discrete ordinates method in the analysis of the radiative transfer in high intensity discharge lamps // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2005. – Vol. 38, No. 22. – P. 4053–4065.

11. *Hamady, M., Lister, G.-G., Zissis, G.* Calculations of visible radiation in electrodeless HID Lamps // Journal of Lighting Research and Technology. – 2016. – Vol. 48, No. 4. – P. 502

12. *Galvez, M.* Ray tracing model for radiation transport in three dimensional LTE systems // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2005. – Vol. 38, No. 17. – P. 3011

13. *Hamady, M., Lister, G.-G., Aubès, M., Zissis, G.* Study of photometric properties of high-pressure mercury discharge wit thallium iodide additives (HgTlI) using the ray-tracing method // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2011. – Vol. 44, No. 10. – P. 5201

Раван Аль Юссиф (Rawan Al Youssif), *B. Sc. (2015). Преподаватель Высшей школы Сайда, Абра, Ливан. Область научных интересов: разряд высокой интенсивности, применение метода трассировка лучей*

Антуан Сахаб (Antoine Sahab), *M. Sc. Аспирант (Ph.D.) Университета Поля Сабатье, Тулуза, Франция. Бухгалтер и распорядительный директор компании Solid Worx SARL, Ливан. Область научных интересов: исследование газового разряда*

Жорж Циссис (Georges Zissis), *Ph.D. Окончил Критский университет (1964 г.). Профессор Тулузского университета Тулуза-3. Почётный профессор Санкт-Петербургского государственного университета. Руководитель группы «Свет и вещество», лауреат нескольких национальных и международных премий. Область научных интересов: физика газового разряда, метрологическое обеспечение СД освещения, стандартизация и проблемы качества источников света, качество жизни, здоровье и безопасность, освещение*

Валид Малеб (Walid Malaeb), *Ph.D. (2009 г.). Доцент Бейрутского арабского университета, Ливан. Автор и соавтор более чем 35 научных работ. Область научных интересов: исследование электронного строения новых высокотемпературных сверхпроводников, а также электрические, структурные, механические, магнитные и температурные характеристики сверхпроводников и наноматериалов*

Мохамад Хамади (Mohamad Hamady), *Ph.D. Преподаватель Ливанского университета и Бейрутского арабского университета, Ливан. Область научных интересов: газовый разряд и производство наноматериалов*

Разработка и практическая реализация установки внутреннего освещения с возможностью передачи данных видимым светом[1]

С. ЧАТТЕРДЖИ, Б. РОЙ[1]

Джадавпурский университет, Колката, Индия
[1]E-mail: broy@ee.jdvu.ac.in

Аннотация

Основанные на светодиодах установки офисного освещения могут использоваться для передачи данных. Эта статья посвящена созданию как экономичного управляемого входными данными устройства управления для светодиодов, обеспечивающего возможность передачи данных, так и соответствующего приёмного устройства. Кроме того, в статье подробно описано применение предлагаемой системы передачи данных видимым светом в офисах, в которых задача осложняется наличием внешней засветки. Полученные результаты продемонстрировали обеспечение удовлетворительных уровня и равномерности горизонтальной освещённости в пределах всей рабочей области. Кроме того, для оценки качества передачи данных как в реальном масштабе времени, так и в статических условиях, была разработана совмещённая с *Arduino* модель в *MATLAB Simulink*, продемонстрировавшая хорошее качество связи в части частоты ошибок по битам (10^{-7}) даже при наличии создаваемых внешней засветкой шумов при равном 6 дБ отношении сигнала к смеси помехи с шумом. При отсутствии потребности в передаче данных разработанная система может использоваться как обычная осветительная установка.

Ключевые слова: управляемое входными данными устройство управления для СД, система передачи данных видимым светом, *VLC* приёмник оптического излучения, частота ошибок по битам, *BER*, помехи, создаваемые внешней засветкой.

1. Ведение

Энергетический кризис последних лет стимулировал развитие основанной на светодиодах (СД) осветительной техники, что обусловлено высокими световыми отдачами и сроками службы СД [1–5]. Это резкое изменение подхода к освещению привело к вытеснению традиционных ламп из многих областей применения, особенно из области внутреннего освещения. В то же время, высокая скорость переключения этих твердотельных приборов предоставляет большие возможности в части высокоскоростной передачи данных [6]. Широкое внедрение СД освещения способствовало развитию системы передачи данных видимым светом (*VLC*) как альтернативы радиочастотным средствам связи [7, 8]. Более того, *VLC* имеет ряд преимуществ по сравнению со связью, работающей в радиочастотном или инфракрасном диапазонах длин волн, а именно:

(а) на настоящий момент нет никаких правил, регламентирующих использование видимой части спектра электромагнитного излучения;

(б) в отличие от работающих в инфракрасном диапазоне средств связи, в случае *VLC* нет никаких здравоохранительных нормативных документов, накладывающих ограничения на излучаемую мощность. Так что подобную связь приветствовали бы в больницах и центрах здоровья [9].

Известно, что частота переключения белых СД меньше, чем у цветных СД, хотя она и способна обеспечить скорость передачи данных, измеряемую в Мбит/с [10, 11]. Работа беспроводного канала передачи данных видимым светом из одной точки в другую со скоростью 513 Мбит/с была описана в [12]. В другой работе было показано, что имеющие небольшую поверхность микро-СД обычно обеспечивают большую, чем их более крупные аналоги, полосу частот модуляции [13]. Так что белые СД можно рассматривать как кандидатов на использование в качестве источников света для передатчиков системы высокоскоростной ближней связи в пределах прямой видимости. Основной задачей использования белых СД в осветительных установках является обеспечение энергоэффективного освещения. Ранее были рассмотрены различные способы передачи данных видимым светом [14], однако очень немногие работы были посвящены практической реализации *VLC*, которая обеспечивала бы хорошую связь при наличии естественного освещения или сторонних искусственных источников света [15, 16]. В [17, 18] эта задача была решена в рамках компьютерного моделирования, но безотносительно к практической реализации предлагаемой системы и без учёта влияния внешней засветки, имеющей место в момент передачи данных. В [19] была достигнута меньшая чем 50 лк освещённость при равном 80 см расстоянии между передатчиком и приёмником. Обычно в случае внутреннего освещения для экономии энергии наряду с искусственным используется и естественное освещение. Так что возникает ещё и проблема передачи данных видимым светом при наличии диффузного естественного света и/или других искусственных источников света. В [16] был предложен новый приёмник оптического излучения, позволяющий уменьшить создаваемый внешней засветкой шум, что обеспечило возможность передачу данных со скоростью 10 кбит/с на расстояние 0,4 м. Однако работа этой системы в помещении не была продемонстрирована. Кроме того, для предложенной системы не была проведена оценка частоты ошибок по битам.

В отличие от предшествующих работ, здесь представлено решение, позволяющее установить систему *VLC* в офисном помещении. При этом предлагаемая система *VLC* является достаточно гибкой, чтобы при отсутствии потребности в передаче данных обеспечить возможность использования её в качестве обычного источника света. Работа этой системы связи оценивалась при наличии естественного света и сторонних искусственных источников света. Полученные результаты говорят об улучшении рабочих характеристик на расстоянии 1 м при наличии помех, создаваемых внешней засветкой. Кроме того, в пределах всех рабочих областей обеспечено выполнение предъявляемых к освещению

[1] Перевод с англ. Е.И. Розовского

требований, таких как средняя горизонтальная освещённость и равномерность освещённости.

2. Геометрия помещения и поэтапная программа

Офисное помещение размером 7 х 6 х 3 м разделено на 6 небольших отгороженных рабочих мест (рис. 1). Ширина оставленного в помещении прохода принята равной 1,6 м, а размер рабочих областей в пределах каждого из отгороженных рабочих мест равен 1,5×0,85 м. Для каждого из отгороженных рабочих мест была выбрана своя точка доступа, характеризующаяся нулевыми межканальными помехами. Белые СД, установленные во всех точках доступа, могут передавать данные посредством модуляции их световых потоков. Кроме того, они могут обеспечивать требуемое освещения рабочей области. Кроме этих белых СД в офисном помещении установлены компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), позволяющие обеспечить хорошую равномерность освещённости и требуемую горизонтальную освещённость во всём помещении.

Согласно стандарту ИСО [20], для офисов нормированное минимальное значение средней эксплуатационной освещённости на рабочем месте составляет 300 лк. Главная задача данной работы заключалась в том, чтобы обеспечить требуемую освещённость при меньшем расходе энергии и в то же время использовать часть источников света в качестве точек доступа, характеризующихся большей точностью передачи данных, оцениваемой по частоте ошибок по битам (*BER*). Рассеянное естественное освещение может быть совмещено с искусственным освещением для экономии энергии в дневное время. А применительно к передаче данных естественный свет является ещё и потенциальным источником помех. Так что целями данной работы являлись создание и оценка опытного образца системы, позволяющей передавать данные с минимальными ошибками даже при наличии помех, создаваемых внешней засветкой, и обеспечивающей достаточную освещённость на рабочей плоскости.

Требуемые светотехнические характеристики и качество связи обеспечиваются предлагаемой системой в результате выполнения следующей поэтапной программы:

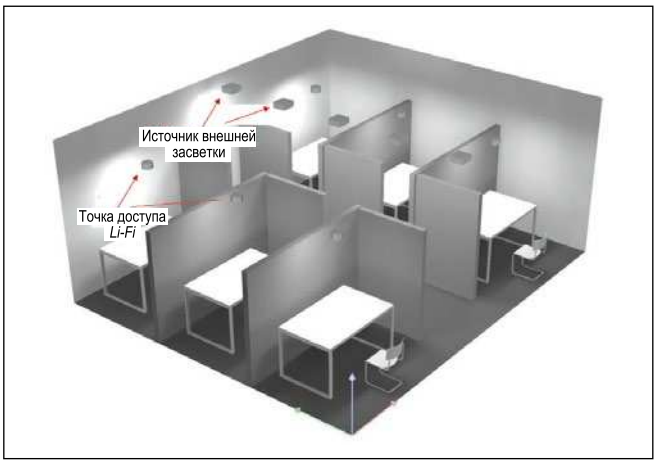


Рис. 1. Трёхмерное изображение поддерживающей беспроводную связь (*Li-Fi*) установки для освещения отгороженных офисных рабочих мест

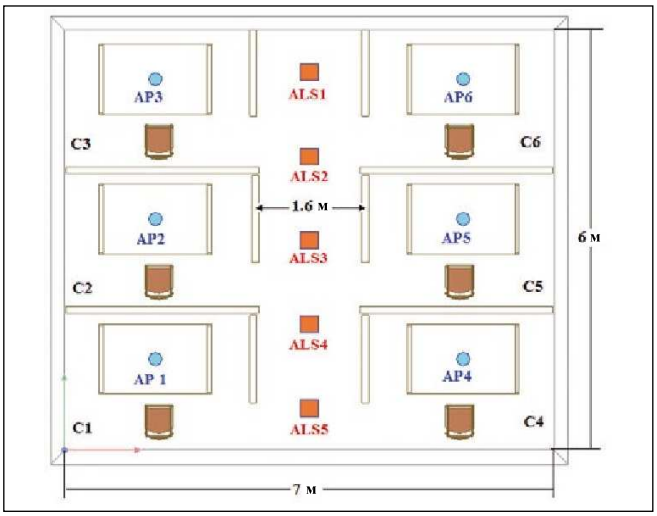


Рис. 2. План офиса (*C* – отгороженное рабочее место, *ALS* – сторонний источник света, *AP* – точка доступа)

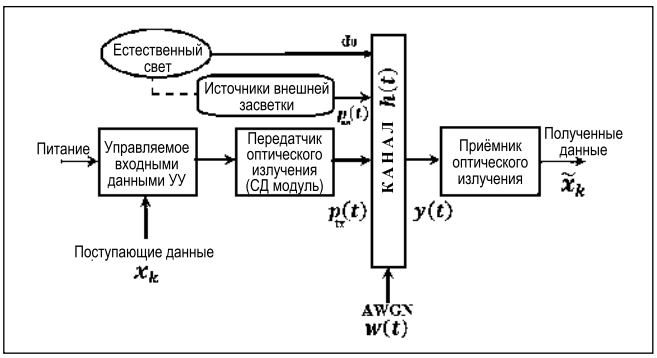


Рис. 3. Блок-схема предлагаемой системы передачи данных видимым светом (*VLC*) , где *AWGN* – аддитивный белый гауссовский шум

1. Разработка дешёвого устройства управления для СД (далее – УУ), позволяющего ещё и передавать данные. Это управляемое входными данными УУ должно: а) подавать на СД модуль такие ток и напряжение, при которых обеспечивается требуемое значение освещённости, и б) работать в качестве передатчика данных.

2. Разработка приёмника оптического излучения, способного принимать передаваемые данные с подавлением шумов, создаваемых естественным светом и сторонними искусственными источниками света.

3. Моделирование в программе *DiaLux* заданного офисного пространства, состоящего из шести отгороженных рабочих мест, в целях определения вклада сторонних источников света в освещение рабочей области. План офиса приведён на рис. 2. Так как все шесть отгороженных рабочих мест (*C1 – C6*) аналогичны друг другу, а межканальные помехи во внимание не принимаются, то экспериментальное определение характеристик системы связи достаточно осуществить для одного отгороженного рабочего места.

4. Первоначальная оценка качества связи для одного отгороженного ра-

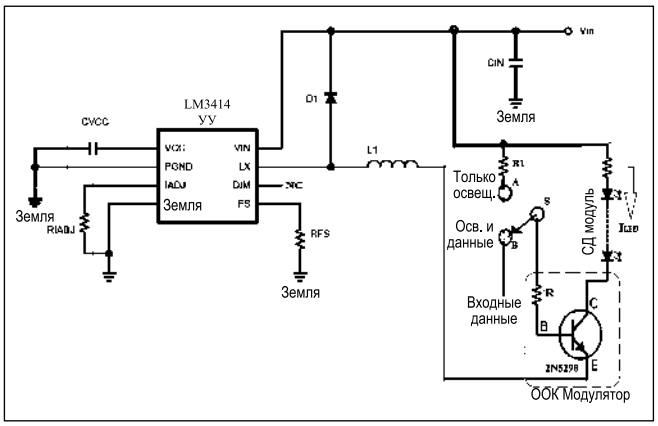


Рис. 4. Интегрированное управляемое входными данными УУ на базе *LM3414*

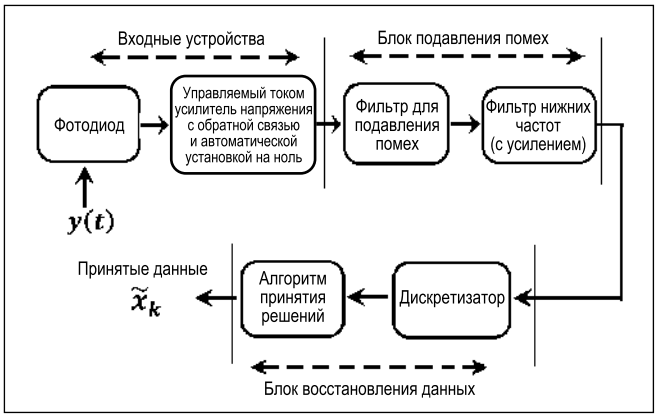


Рис. 5. Блок-схема предлагаемого приёмника оптического излучения

бочего места на основе рассмотрения передачи случайных двоичных последовательностей при наличии естественного освещения. Совокупность *MATLAB Simulink* и *Arduino* используется для проверки системы, осуществляемой в реальном масштабе времени применительно к большому потоку данных при наличии помех, создаваемых сторонними источниками света. На основе полученных экспериментальных данных производится оценка влияния этих помех на частоту ошибок по битам и отношение сигнала к смеси помехи с шумом.

3. Блок-схема оптической беспроводной системы связи

Работа оптической беспроводной системы связи определяется положением и характеристиками передатчика и приёмника, а также параметрами среды в помещении. Блок-схема разработанной оптической беспроводной системы связи приведена на рис. 3.

Входные двоичные данные оптически модулируют при помощи управляемого входными данными УУ, которое вкратце описано в разделе 4. Кроме того, это УУ подаёт на СД модуль ток, достаточный для обеспечения удовлетворяющей требованиям ИСО средней горизонтальной освещённости. Затем оптически модулированный сигнал передаётся по беспроводному оптическому каналу связи и принимается приёмником оптического излучения. Сторонний световой поток, создаваемый естественными и искусственными источниками света, также распространяется по этому каналу и воздействует на приёмник оптического излучения как помеха. Оптический канал связи можно считать не зависящей от времени линейной безынерционной системой с имеющей конечную продолжительность импульсной реакцией [21]. При наличии естественного света эту реакцию можно описать при помощи следующей непрерывной во времени модели коммуникационного канала с шумами:

$$y(t)=h(t)*\left[p_{tx}(t)+p_{na}(t)\right]+d_0+w(t), \quad (1)$$

где $p_{tx}(t)$ – модулированный по световому потоку сигнал, переданный СД источником света, $y(t)$ – принятый искажённый вариант переданного сигнала, $p_{na}(t)$ и d_0 – помехи, обусловленные, соответственно, сторонними источниками света и шумами, создаваемыми естественным освещением. Хотя естественное освещение по своей природе непостоянно, скорость его изменения пренебрежимо мала по сравнению с $p_{tx}(t)$ и $p_{na}(t)$. Так что естественное освещение можно рассматривать в качестве напряжения смещения постоянного тока, подаваемого на приёмник оптического излучения. На стороне приёма амплитуда принятого сигнала напряжения пропорциональна взятому по площади фотодиода интегралу мощности падающего оптического излучения. Воздействующие на приёмник дробовые и тепловые шумы $w(t)$ можно считать аддитивным белым гауссовским шумом [22].

Для связи в пределах прямой видимости, которая и имеет место в рассматриваемом случае, импульсную характеристику канала $h(t)$ можно аппроксимировать при помощи нормированной и смещённой дельта-функции [23]:

$$h(t)=\frac{(m+1)A_R}{2\pi d^2}cos^m(\varphi)cos(\theta)\times$$
$$\times rect\left(\frac{\theta}{FOV}\right)\delta\left(t-\frac{d}{C}\right), \quad (2)$$

где A_R – расстояние между СД и поверхностью приёмника, φ – угол облучения (*angle of irradiance*), θ – угол падения, c – скорость света, m – порядок диффузного распределения излучения (*order of lambertian emission*), который можно рассчитать при помощи формулы, описывающей полуширину угла излучения передатчика α_H [24, 25]:

$$\alpha_H=\cos^{-1}0.5^{1/m}. \quad (3)$$

В случае неразветвлённого канала связи в пределах прямой видимости членом $\delta\left(t-\frac{d}{C}\right)$ можно пренебречь, и для учёта влияние канала достаточно коэффициента усиления канала для постоянной составляющей $H(0)$:

$$H(0)=\int_{-\infty}^{\infty}h(t)dt. \quad (4)$$

Горизонтальная освещённость в произвольной точке рабочей области любого отгороженного рабочего места E_0 равна:

$$E_0=E_{AP}+E_{AL}, \quad (5)$$

где E_{AP} и E_{AL} – освещённости, создаваемые, соответственно, передатчи-

ком оптического излучения и сторонней засветкой.

4. Конструкция управляемого входными данными интегрированного УУ

Управляемое входными данными интегрированное УУ представляет собой УУ особого типа, обеспечивающее как работу СД модуля при заданном значении тока, так и одновременную передачу данных посредством модулирования светового потока этого СД модуля. Электрическая схема предлагаемого УУ приведена на рис. 4. В рассматриваемом случае передача цифровых данных при помощи источника света, например СД матрицы, осуществляется посредством амплитудной манипуляции, являющейся одним из простейших методов цифровой модуляции. При этом двоичной единице соответствует короткий световой импульс, а двоичному нулю соответствует отсутствие света.

Подлежащие передаче данные подаются на штырёк «Входные данные» разработанного УУ, и при передаче данных переключатель установлен в положение *B*. Для передачи данных при помощи амплитудной манипуляции используется транзистор *2N5298*, играющий роль высокоскоростного переключателя. Как упоминалось выше, при желании потребитель может использовать предлагаемую систему только для освещения, и при этом переключатель устанавливается в положение *A*. В рассматриваемом случае для формирования передатчика оптического излучения были соединены последовательно 6 СД, имеющих достаточную скорость переключения. Каждый из этих СД имел равное 2,7 В прямое напряжение и равное 700 мА максимальное значение тока. Номинальная мощность этих СД была равна 2 Вт. Обеспечение работы СД модуля при номинальном значении тока I_L (принятом равным 350 мА) осуществлялось при помощи интегральной схемы *LM3414*, использовавшейся в качестве УУ постоянного тока (1 А, 60 Вт) с общим анодом и понижающим преобразователем.

LM3414 представляет собой УУ с широтно-импульсной модуляцией, включающее в себя генератор тактовых импульсов, обеспечивающий постоянную частоту переключения устройства. Частота переключения зависит от сопротивления внешнего резистора R_{FS} и может меняться в пределах от 250 кГц до 1 МГц. При этом меньшему сопротивлению резистора R_{FS} соответствует большее значение частоты переключения. Частота переключения *LM3414*/*14HV* рассчитывают по формуле [26]:

$$f_{sw} = \frac{20 \times 10^6}{R_{FS}}. \qquad (6)$$

Для обеспечения должного управления током *LM3414* работает в режиме непрерывной проводимости. В случае широтно-импульсной модуляции размах пульсаций тока катушки индуктивности можно задать равным вплоть до 60 % от выходного тока. Минимальная индуктивность катушки индуктивности определяется заданным средним значением тока СД и допустимым значением размаха пульсаций тока катушки индуктивности и может быть рассчитана по формуле:

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN} - V_{LED}}{1.2 I_{LED}} \times \frac{V_{LED}}{V_{IN}} \times \frac{1}{f_{SW}} \quad . \qquad (7)$$

Таблица 1

Параметры управляемого входными данными УУ

Параметр	Обозначение	Значение
Входное напряжение постоянного тока	V_{in}	24 В
Прямое напряжение на СД матрице	V_{LED}	16,2 В
Средний ток СД	I_{LED}	350 мА
Частота внутреннего переключения	f_{SW}	500 кГц
Резистор выбора частоты переключения	R_{FS}	40 кОм
Резистор управления током	R_{IADJ}	8,92 кОм
Минимальная величина индуктивности L_1	L_{MIN}	25,3 мкГн

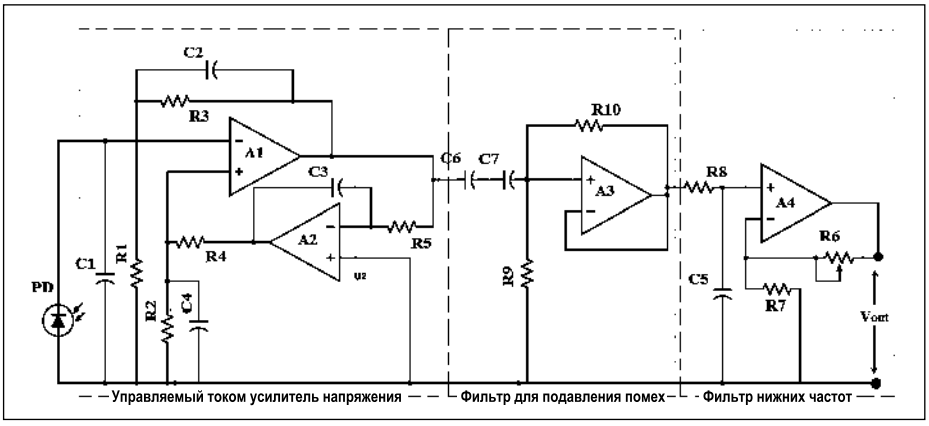


Рис. 6. Предлагаемый управляемый током усилитель напряжения с обратной связью и автоматической установкой на ноль и блок подавления помех

Полученные при помощи уравнений (6) и (7) значения параметров приведены в табл. 1.

5. Конструкция приёмника оптического излучения

Блок-схема предлагаемого приёмника оптического излучения, которая приведена на рис. 5, содержит три основных блока. Входные устройства приёмника включают в себя фотодиод и управляемый током усилитель напряжения с обратной связью и автоматической установкой на ноль. Второй блок включает в себя фильтр для подавления помех, за которым следует фильтр нижних частот Баттерворта. Подробная электрическая схема этих двух блоков приведена на рис. 6.

Фотодиод обеспечивает преобразование оптического сигнала в электрический. Обратная связь и автоматическая установка на ноль, предусмотренные в управляемом током усилителе напряжения, обеспечивают поддержание равного 0 В выходного напряжения постоянного тока при отсутствии передаваемого импульса. Любой

Таблица 2

Компоненты разработанного приёмника оптического излучения

Компонент	Значение	Компонент	Значение
Фотодиод (*PD*)	*VISHAY TEMD7000X01*	Конденсатор (*C1*)	100 пФ
Резистор (*R1*)	2 кОм	Конденсатор (*C2*)	10 пФ
Резистор (*R2*)	2 кОм	Конденсатор (*C3*)	1000 пФ
Резистор (*R3*)	20 кОм	Конденсатор (*C4*)	10 нФ
Резистор (*R4*)	20 кОм	Конденсатор (*C5*)	0,01 мкФ
Резистор (*R5*)	200 кОм	Конденсатор (*C6*)	14 нФ
Резистор (*R6*)	400 Ом	Конденсатор (*C7*)	10 нФ
Резистор (*R7*)	47 Ом	Оптический усилитель (*A1*)	LTC6244
Резистор (*R8*)	1 кОм	Оптический усилитель (*A2*)	LTC6244
Резистор (*R9*)	10 кОм	Оптический усилитель (*A3*)	LP2904
Резистор (*R10*)	7.9 кОм	Оптический усилитель (*A4*)	LM7171

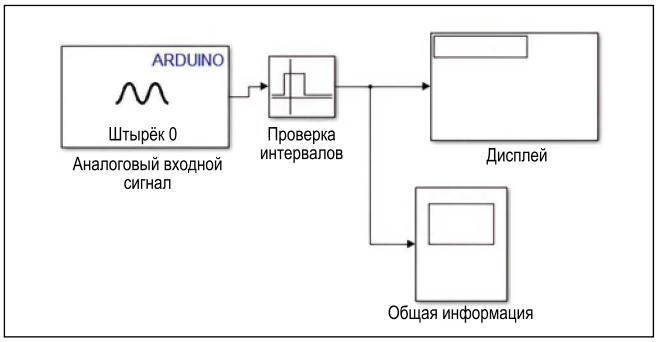


Рис. 7. Модель *MATLAB Simulink*, обеспечивающая восстановление данных при помощи *Arduino Mega*

ошибочный сигнал постоянного тока на выходе устройства *A1* генерирует противоположный сигнал на выходе устройства *A2*. Затем на неинвертирующий вход устройства *A1* подаётся корректирующее напряжение, возвращающее выходной сигнал устройства *A1* на нулевой уровень. Нижняя и верхняя граничные частоты усилителя задаются, соответственно, резистором *R5* и конденсатором *C3* и резистором *R3* и конденсатором *C2*. Ширина полосы пропускания разработанного управляемого током усилителя напряжения равна 800 кГц при равном 10 коэффициенте усиления. Это устройство устраняет все сдвиги, обусловленные наличием естественного освещения. Второй блок предназначен для приёма слабых сигналов и устранения помех, обусловленных наличием гармоник излучения сторонних источников света (в данном случае – КЛЛ).

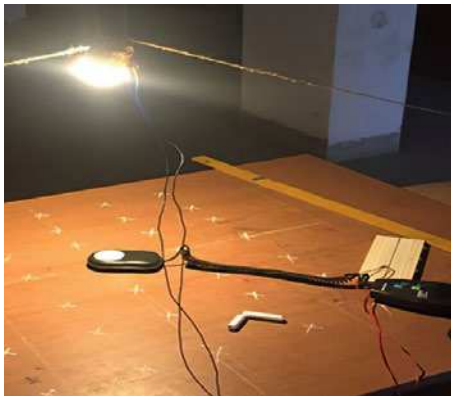


Рис. 8. Измерение освещённости на горизонтальной рабочей плоскости

Реакцию фотодиода на эту помеху можно записать как [27]

$$I_{ALS}(t) = \\ = kI_{av}\sum_{i=1}^{20}\begin{bmatrix} m_i\cos\{(2\pi 100i-50)t+\chi_i \\ +n_i\cos(2\pi 100it+\xi_i)\end{bmatrix}, \quad (8)$$

где I_{av} – средний ток стороннего источника света, k – коэффициент пропорциональности для определения уровня помехи, m_i и n_i – амплитуды, соответственно, нечётных и чётных гармоник при работе на частоте 60 Гц, χ_i и ξ_i – фазы, соответственно, нечётных и чётных гармоник.

Из уравнения (8) следует, что создаваемые КЛЛ помехи доминируют в диапазоне до 2000 Гц. Для устранения искажений, вызванных сторонними источниками света, используется фильтр для подавления помех. В сущности, это фильтр высоких частот Бесселя с единичным усилением и равной 2 кГц частотой отсечки. Следующий за ним фильтр нижних частот Баттерворта используется для обеспечения дополнительного усиления и кроме того, работает в качестве эквалайзера. Он также устраняет искажения, обусловленные переключениями, имеющими место внутри УУ. В разделе 4 упоминалось, что частота внутреннего переключения УУ (f_{SW}) была выбрана равной 500 Гц, что обеспечивает точное регулирование тока [26]. В то же время, передача данных осуществляется на частоте 30 кГц при помощи внешней схемы переключения. Обе эти частоты очевидным образом влияют на приёмник. Однако для обеспечения достоверного приёма информационного импульса необходимо устранить паразитные высокие частоты. Это достигается за счёт правильного выбора фильтра нижних частот Баттерворта. Для обеспечения дополнительного усиления и подавления высокочастотных помех частота отсечки этого фильтра нижних частот была выбрана равной 37,7 кГц при коэффициенте усиления по напряжению, равном примерно

$$20\ \text{дБ}\ [20\log_{10}\left(1+\frac{R6}{R7}\right)].$$

Экспериментальные данные говорят о хорошем совпадении формы переданного и принятого сигналов на частоте 30 кГц. При увеличении внешней частоты переключения имеет место постепенное отклонение формы принятого сигнала от формы переданного импульса. Значения характеристик всех компонентов приёмника приведены в табл. 2.

Третий и последний блок разработанного приёмника оптического излучения представляет собой устройство восстановления данных, которое включает в себя дискретизатор, за которым следует алгоритм принятия решений относительно амплитуды дискретных данных. Этот блок сформирован с использованием поддерживаемого *MATLAB* микроконтроллера *Arduino*. Выходной сигнал фильтра нижних частот V_{Out} подаётся на штырёк аналогового входа

платы *Arduino Mega 2560*, связанной с *MATLAB Simulink* для реализации алгоритма принятия решений. Сигнал, поступающий в *Simulink* через *Arduino*, дискретизируется и сравнивается с пороговым значением. Флажки «Ограничение диапазона справа» и «Ограничение диапазона слева» обозначают верхнюю и нижнюю границы рабочего диапазона. Рабочая модель *Simulink* показана на рис. 7. Если входной сигнал попадает в диапазон, заданный верхней и нижней границами, то на выходе будет сформирован сигнал «ИСТИНА», т.е. «1». Если же входной сигнал не попадает в этот диапазон, то будет сформирован сигнал «ЛОЖЬ», т.е. «0». В коммерческих областях применения, когда не требуется оценивать работу системы на основе частоты ошибок по битам, этот блок можно заменить на процессор цифровой обработки сигналов.

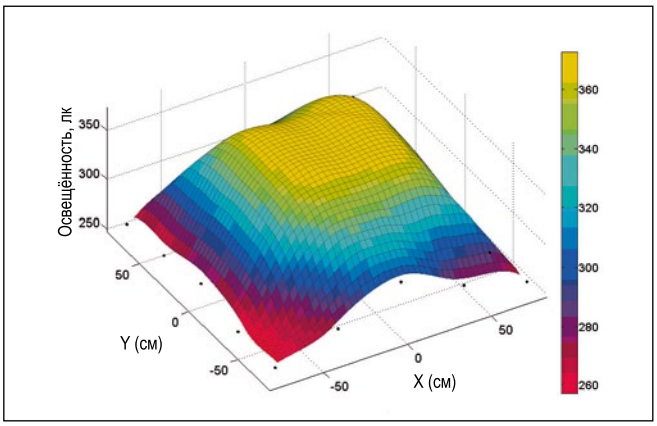


Рис. 9. Объёмное графическое изображение распределения освещённости в пределах рабочей области

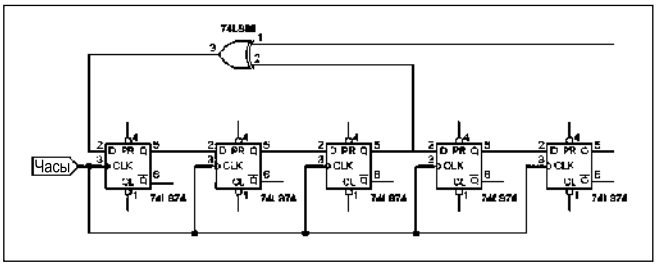


Рис. 10. Схема генератора последовательности случайных чисел

6. Светотехнические характеристики

Как отмечалось в разделе 2, светотехнические характеристики офисного пространства в целом определялись при помощи программы *DiaLux*. При этом вклад в освещение отгороженного рабочего места стороннего света (E_{AL}) и передатчика оптического излучения (E_{AP}) определялся по-отдельности. Было замечено, что основной вклад в освещение рабочей области вносит передатчик оптического излучения и что этот вклад не выходит за пределы отгороженного рабочего места, что сводит межканальные помехи к нулю. Общее пространство (коридор) освещено пятью расположенными на одном и том же расстоянии друг от друга КЛЛ, которые также приводят к появлению помех, создаваемых внешней засветкой. Результаты расчётов показали, что каждая из точек доступа вносит почти один и тот же вклад в освещение соответствующей рабочей области. Это вполне понятно в случае нескольких имеющих одинаковую геометрию отгороженных рабочих мест. Для подтверждения результатов расчётов и, что наиболее важно, для оценки качества связи было проведено исследование работы системы применительно к одному отгороженному рабочему месту.

Для измерения вклада передатчика оптического излучения, на рабочую область была вначале нанесена сетка размером 5×5, в узлах которой при помощи люксметра проводились измерения освещённости (рис. 8). Средняя освещённость определялась как среднее арифметическое значений освещённости, измеренных во всех узлах сетки. Объёмное графическое изображение распределения освещённости, создаваемой передатчиком оптического излучения, приведено на рис. 9.

7. Качество связи

Для оценки качества связи, обеспечиваемой предлагаемой системой, светильник с СД был установлен на высоте 1 м над рабочей областью. Световой поток источника оптического излучения модулировали на основе входного потока двоичных данных. При этом амплитудная манипуляция осуществлялась при помощи управляемого входными данными УУ. Для оценки качества связи были проведены испытания двух типов, причём в случае оценки, проводившейся применительно к статическим условиям, случайные 7-битовые данные генерировались при помощи регистра сдвига и схемы «исключающее ИЛИ» (рис. 10).

Последовательность данных подаётся на вход данных предлагаемого УУ. Затем представленные модулированным световым потоком данные поступают на фотодиод при наличии естественного освещения, после чего при помощи осциллографа проводится сравнение переданной и принятой последовательностей данных. При этом обеспечивается совпадение тактовых частот передатчика и приёмника (30 кГц). Приведённые в разделе 8 результаты демонстрируют хорошее качество приёма передаваемых случайных данных даже при наличии создаваемого естественным светом шума.

Для оценки предлагаемой системы в реальном масштабе времени следует осуществить передачу непрерывного большого потока двоичных данных, которые должны приниматься приёмником оптического излучения при наличии помех, создаваемых сторонними источниками света. Процесс осуществляемой в реальном масштабе времени экспериментальной оценки качества связи на основе результатов измерений частоты ошибок по битам продемонстрирован на рис. 11. Результаты расчётов, проведённых в программе *DiaLux*, показали, что в пределах отгороженного рабочего места создаваемая сторонней засветкой максимальная освещённость 109 лк приводит к появлению помех и отрицательно сказывается на работе системы связи. Для экспериментального исследования устойчивости предлагаемого приёмника к воздействию сторонней засветки в качестве источника помех были использованы КЛЛ, и измерения частоты ошибок по битам были проведены при наличии этих создаваемых сторонними источниками света

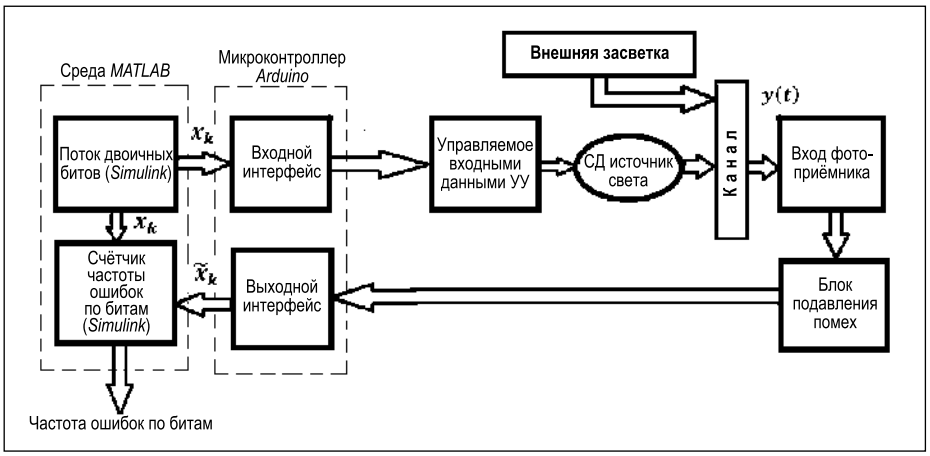


Рис. 11. Блок-схема измерения частоты ошибок по битам

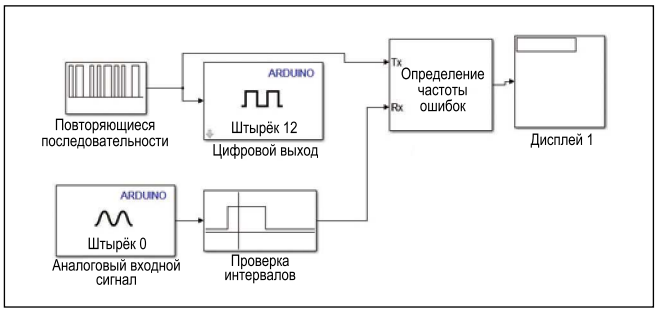


Рис. 12. Модель *MATLAB Simulink*, обеспечивающая измерение частоты ошибок по битам при помощи *Arduino Mega*

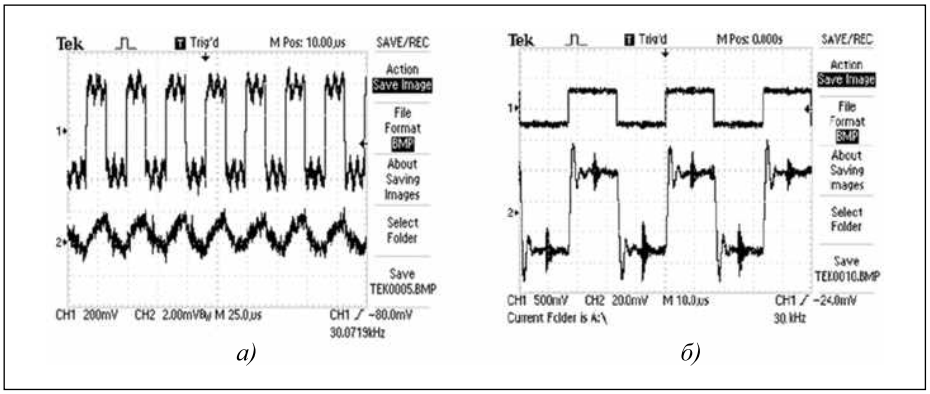


Рис. 13. Измеренные формы переданных и принятых сигналов, имеющих частоту 30 кГц

помех. Измерения проводились с использованием связанной с *ARDUINO* среды *MATLAB Simulink*.

Среда *MATLAB Simulink* играет здесь двоякую роль. Во-первых, она обеспечивает генерацию больших потоков двоичных данных, используемых в качестве входных данных для разрабатываемого УУ, и во-вторых, во время приёма данных она обеспечивает расчёт частоты ошибок по битам. Сформированная в *Simulink* модель соединена с УУ через микроконтроллер *Arduino* (*ATmega 2560*). В свою очередь, штырёк «Цифровой выход» этого контроллера соединён со штырьком ввода данных УУ. Выходной сигнал первых двух блоков источника оптического излучения, который был описан в разделе 5, подаётся на штырёк ввода аналогового сигнала микроконтроллера *ATmega 2560*, который выступает в роли выходного устройства рассматриваемой системы. *MATLAB Simulink* осуществляет сравнение переданной последовательности битов $x(n)$ с принятой комбинацией битов $\overline{x}(n)$ и определяет частоту ошибок по битам. Модель *Simulink*, обеспечивающая генерацию и приём данных, представлена на рис. 12.

8. Результаты и обсуждение

Предварительные экспериментальные исследования разработанной системы были проведены с целью оценки её возможностей в части восстановления сигнала. Квадратные импульсы с частотой следования 30 кГц передавались посредством модуляции светового потока СД источника света. На рис. 13 приведены измеренные формы сигналов, переданных и принятых при отсутствии и наличии управляемого током усилителя напряжения. Эти формы сигналов говорят о важности управляемого током усилителя напряжения, что уже было отмечено в разделе 5.

В случае нулевых шумов и нулевых межсимвольных помех напряжение выходного сигнала схемы принятия решений $v_{out}(t)$ всегда должно быть больше порогового при отправлении единицы и меньше порогового при отправлении нуля. Однако при осуществлении связи в реальных условиях, которым соответствует предлагаемая система, имеют место отклонения от средних значений $v_{out}(t)$, обусловленные различными шумами, помехами, создаваемыми соседними импульсами, и т.д. При проведении предварительных исследований пороговое напряжение V_{th} было выбрано равным 50 мВ, что вдвое меньше измеренного в точках сетки минимального размаха напряжения.

Теоретически, для расчёта частоты ошибок по битам используется гауссовская аппроксимация. При этом частота ошибок по битам описывается следующими эмпирическими соотношениями [28]:

$$\mathrm{BER} = P_e(Q) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{Q/\sqrt{2}}^{\infty} e^{-x^2}\,dx = \frac{1}{2}\left[1 - erf\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)\right], \qquad (10)$$

$$Q = \frac{v_{th} - b_{off}}{\sigma_{off}} = \frac{b_{on} - v_{th}}{\sigma_{on}} = \frac{b_{on} - b_{off}}{\sigma_{on} + \sigma_{off}}. \qquad (11)$$

Как отмечалось в разделе 7, оценка качества связи, обеспечиваемой предлагаемой системой, проводилась для реального канала связи как применительно к статическим условиям работы, так и в реальном масштабе времени. На рис. 14 приведены переданные и принятые последовательности битов 7-битовых случайных данных, которые использовались при проведении исследований. Из этого рисунка с очевидностью следует, что управляемый током усилитель напряжения с обратной связью и автоматической

установкой на ноль успешно обнуляет смещение, обусловленное естественным освещением, и обеспечивает восстановление переданных данных.

В рамках исследований, проведённых в реальном масштабе времени по схеме, представленной на рис. 11, было получено, что при наличии естественного освещения частота ошибок по битам составляет порядка 10^{-8}. Однако эта ошибка возрастает при увеличении отношения сигнала к смеси помехи с шумом. Фильтр для подавления помех, который входит в состав приёмника, исключает большую часть гармоник, создаваемых сторонними источниками света. Но при этом всё ещё сохраняются некоторые высокочастотные составляющие, которые могут выступать в роли неустранимых внутренних шумов системы. Зависимости частоты ошибок по битам и отношения сигнала к смеси помехи с шумом от освещённости, создаваемой сторонними источниками света, приведены на рис. 15.

Измерения распределения освещённости показали, что средняя освещённость рабочей области в пределах отгороженного рабочего места составляет 231,9 лк. Расчёты в программе *DiaLux* были проведены для всего офиса в целом с учётом упомянутого вклада передатчика оптического излучения и сторонней засветки. Пять КЛЛ, установленные для освещения общего коридора, также вносят свой вклад в освещение рабочих областей всех отгороженных рабочих мест. Приведённые в табл. 3 результаты расчётов демонстрируют приемлемость освещения всех отгороженных рабочих мест и коридора в части горизонтальной освещённости и её общей равномерности. Вследствие симметричных компоновки помещения и расположения светильников распределения освещённости в пределах расположенных напротив друг друга отгороженных рабочих мест оказались почти идентичными. Изолюксы для рабочей области (в пределах отгороженного рабочего места *C3*) и общего коридора приведены на рис. 16.

Результаты расчётов показали, что вклад сторонних источников света в освещение рабочей области в пределах отгороженного рабочего места меняется от 41 до 109 лк. При увеличении сторонней засветки рабочей области отношения сигнала к смеси помехи с шумом постепенно уменьшается от 5,94 до 0,96 дБ. Однако экспериментальные результаты демонстрируют приемлемый – порядка 10^{-7} – уровень частоты ошибок по битам в пределах этого интервала. На основе этих результатов можно показать, что предлагаемая система обеспечивает более хорошее, чем в [16], качество связи в части частоты ошибок по битам и скорости передачи данных.

Таблица 3

Характеристики освещения различных рабочих областей

Рабочая область	Средняя горизонтальная освещённость, лк	Общая равномерность освещённости
Левая нижняя (*C1*)	311	0,73
Левая средняя (*C2*)	338	0,76
Левая верхняя (*C3*)	314	0,74
Правая нижняя (*C4*)	311	0,73
Правая средняя (*C5*)	338	0,76
Правая верхняя (*C6*)	314	0,74
Общий коридор	260	0,77

Рис. 14. Измеренные конфигурации переданных и принятых битов (при наличии естественного света)

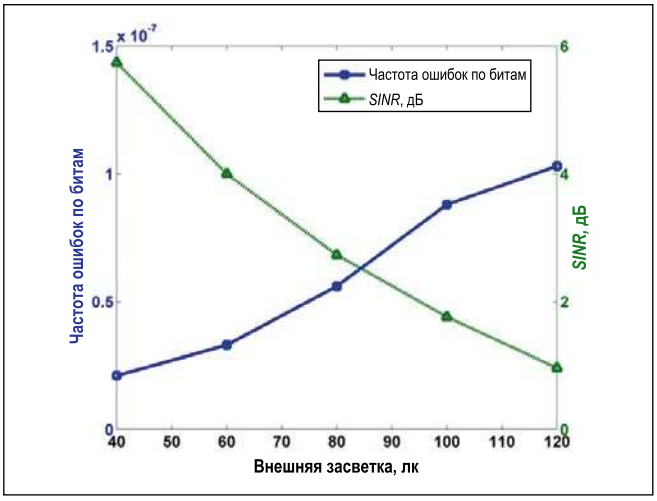


Рис. 15. Зависимости частоты ошибок по битам и отношения сигнала к смеси помехи с шумом (*SINR*) от уровня внешней засветки

9. Заключение

Оптическая беспроводная передача данных с использованием некогерентных источников света осуществляется посредством многоуровневой импульсной модуляции светового потока и непосредственного приёма излучения. Для этого предлагается использовать совокупность дешёвого управляемого входными данными УУ и соответствующего ему приёмника оптического излучения. Основная цель данной работы заключалась в заполнении зазора между освещением и связью, который был выявлен в результате рассмотрения соответствующей литературы. Нами был предложено перспективное с точки зрения *VLC* светотехническое решение, которое может быть использовано в офисах.

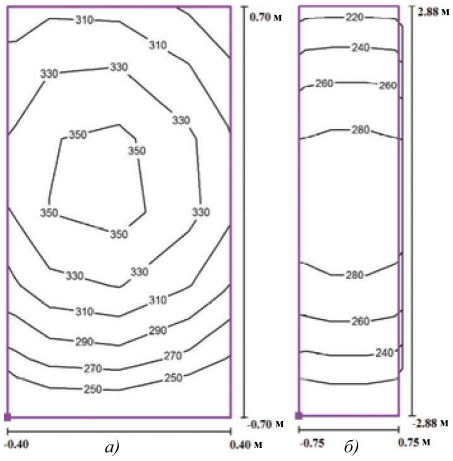


Рис. 16. Изолюксы для: (*а*) рабочей области в пределах отгороженного рабочего места, (*б*) общего коридора

Помимо передачи данных, все точки доступа вносят вклад в освещение рабочих областей, тогда как источники света, предназначенные исключительно для освещения, создают помехи. Принимающая излучение часть предлагаемой системы ограничивает величину частоты ошибок по битам уровнем порядка 10^{-7} даже при наличии помех, создаваемых сторонней засветкой. При этом средняя горизонтальная освещённость и её равномерность удовлетворяют рекомендациям МКО/ИСО в пределах всех рабочих областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Narendran, N., Gu, Y.* Life of LED-based white light sources // Journal of display technology. – 2005. – Vok. 1, No. 1. – P. 167–171.

2. *Kocaman, B, Rüstemli, S.* COMPARISON OF LED AND HPS LUMINAIRES IN TERMS OF ENERGY SAVINGS AT TUNNEL ILLUMINATION // Light & Engineering. – 2019. – Vol. 27, No. 3. – P. 67–74.

3. *Кокаман Б., Рустемли С.* Сравнение светильников со светодиодами и натриевыми лампами высокого давления при освещении тоннелей // Светотехника. – 2019. – № 1. – С. 62–68.

4. *Amelkina, S.A, Zheleznikova, O.E, Sinitsyna, L.V.* ON THE EFFICIENCY OF LIGHTING BY LEDS IN VISUAL WORK // Light & Engineering. – 2018. – Vol. 26, No. 3. – P. 81–87.

5. Амелькина С.А., Железникова О.Е., Синицына Л.В. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника. – 2018. – № 2. – С. 6–10.

6. *Green, R.J., Joshi, H., Higgins, M.D., Leeson, M.S.* Recent developments in indoor optical wireless systems // IET communications. – 2008. – Vol. 2, No. 1. – P. 3–10.

7. *Gancarz, J., Elgala, H., Little, T.D.* Impact of lighting requirements on VLC systems // IEEE Communications Magazine. – 2013. – Vol. 51, No. 12. – P. 34–41.

8. *Chatterjee, S., Sabui, D.* Daylight integrated indoor VLC architecture: An energy-efficient solution // Trans Emerging Tel Tech. – 2019. – e3800.

9. *Markov, M., Grigoriev, Y.G.* Wi-Fi technology–an uncontrolled global experiment on the health of mankind // Electromagnetic biology and medicine. –2013. – Vol. 32, No. 2. – P. 200–208.

10. *Miyahara, S., Aono, S., Matsumoto, Y.* Preproduction of LED driver for visible light communications and evaluation of response performance of visible LED // Technical report of IEICE, ICD2005–44. – 2005. – P. 25–30.

11. *O'Brien, D.C., Faulkner, G., Le Minh, H., Bouchet, O., El Tabach, M., Wolf, M., Langer, K.D. et. al.* Home access networks using optical wireless transmission // In 2008 Proc. IEEE19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, September 2008. – P. 1–5.

12. *Vučić, J., Kottke, C., Nerreter, S., Langer, K.D., Walewski, J.W.* 513 Mbit/s visible light communications link based on DMT-modulation of a white LED // Journal of lightwave technology. – 2010. – Vol. 28, No. 24. – P. 3512–3518.

13. *McKendry, J.J., Massoubre, D., Zhang, S., Rae, B.R., Green, R.P., Gu, E., Dawson, M.D.* Visible-light communications using a CMOS-controlled micro-light-emitting-diode array // Journal of lightwave technology. – 2011. – Vol. 30, No. 1. – P. 61–67.

14. Elgala, H., Mesleh, R., Haas, H. Indoor optical wireless communication: potential and state-of-the-art // IEEE Communications Magazine. – 2011. – Vol. 49, No. 9. – P. 56–62.

15. *Sindhubala, K., Vijayalakshm, B.* SURVEY ON NOISE SOURCES AND RESTRAIN TECHNIQUES IN VISIBLE-LIGHT COMMUNICATION // Light & Engineering. – 2016. Vol. 24, No. 2. – P. 107–117.

16. *Sindhubala, K., Vijayalakshmi, B.* DESIGN AND IMPLEMENTATION OF OPTICAL RECEIVER FOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION TO REDUCE AMBIENT LIGHT NOISE // Light & Engineering. – 2017. – Vol. 25, No. 2. – P. 139–146.

17. *Din, I., Kim, H.* Energy-Eficient Optical Power Control For Data Rate And Illuminance Provision In Visible Light Communication // Light & Engineering. – 2016. – Vol. 24, No. 2. – P. 89–95.

18. *Дин И., Ким Х.* Энергоэффективное управление мощностью оптического излучения в беспроводной связи через видимый свет // Светотехника. – 2016. – № 2. – С. 19–23.

19. *Ho, S.W., Duan, J., Chen, C.S.* (2017). Location-based information transmission systems using visible light communications // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. – 2017. – Vol. 28, No. 1. – e2922

20. ISO-8995–1:2002 (CIE-S008/E:2001). Lighting of work places – Part 1: Indoor/

21. *Kahn, J.M., Barry, J.R.* (1997). Wireless infrared communications // Proc. of the IEEE. – 1997. – Vol. 85, No. 2. – P. 265–298.

22. *Chen, Y., Sung, C.W., Ho, S.W., Wong, W.S.* BER analysis and power control for interfering visible light communication systems // Optik. – 2017. – Vol. 151, No. 12. – P. 98–109.

23. *Afgani, M.Z., Haas, H., Elgala, H., Knipp, D.* Visible light communication using OFDM // Proc. of the 2nd Int. Conf. on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities, March 2006. – TRIDENTCOM 2006. (pp. 6-pp).

24. *Gfeller, F.R., Bapst, U.* Wireless in-house data communication via diffuse infrared radiation // Proceedings of the IEEE. – 1979. – Vol. 67, No. 11. – P. 1474–1486.

25. *Komine, T., Nakagawa, M.* (2004). Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights // IEEE transactions on Consumer Electronics. – 2004. – Vol. 50, No. 1. – P. 100–107.

26. Texas Instruments, «60-W Common Anode-Capable Constant Current Buck LED Driver,» LM3414, LM3414HV datasheet, June 2010 [Revised November 2015].

27. *Moreira, A.J., Valadas, R.T, de Oliveira Duarte, A.M.* Optical interference produced by artificial light // Wireless Networks. – 1997. – Vol. 3, No. 2. – P. 131–140.

28. *Keiser G.* Optical fiber communications. Wiley Encyclopedia of Telecommunications. 2003, Apr 15.

Суриш Чаттерджи (Sourish Chatterjee)*. Окончил Джадавпурский университет (2011 г.). Область научных интересов: передача данных видимым светом. Член Общества инженеров (Индия)*

Бисванат Рой (Biswanath Roy), *Ph.D. (1999 г.). Профессор электротехнического факультета Джадавпурского университета, Индия. Пожизненный член Индийского светотехнического общества и Общества инженеров (Индия), член Североамериканского светотехнического общества (IESNA)*

АО «КАДОШКИНСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

Освещение школ и вузов – это ответственно!

СВЕТИЛЬНИК СО СВЕТОДИОДАМИ GALAD ЮНИОР LED

- Создает максимально равномерное освещение на всех поверхностях, не слепит и не портит зрение
- Обеспечивает требуемую освещенность на рабочей поверхности
- Соответствует требованиям, предтявляемым к светильникам для детских учереждений (ГОСТ-Р-54350-2015)

Освещение образовательных учреждений:

Школы, детские сады, высшие учебные заведения.

IP20 | 50 000 | ГАРАНТИЯ 3

LED | 35 Вт

АО «КЭТЗ», п. Кадошкино, Респ. Мордовия, ул. Заводская,1.

www.galad.ru

(83448) 2-31-21

Виктору Васильевичу Бармину – 80 лет

2 января 2020 г. исполняется 80 лет одному из ведущих специалистов светотехнической промышленности России, консультанту по техническим вопросам Ардатовского светотехнического завода, кандидату технических наук Виктору Васильевичу Бармину.

Вся творческая жизнь Виктора Васильевича проходит на Ардатовском светотехническом заводе (АСЗ), где он служит уже 62 года, из которых 31 – на посту главного инженера. На завод Виктор Васильевич поступил работать в 1958 г. после окончания Рязанского электровакуумного техникума и здесь прошёл трудовой путь от техника до главного инженера – технического директора завода. Большой энтузиаст своего дела и патриот завода, В.В. Бармин посвящает всю свою энергию, время и профессиональные знания делу развития АСЗ: на протяжении трёх десятилетий он определяет техническую политику предприятия, возглавляя инженерные службы завода. Под его руководством и при непосредственном участии было создано первое в стране массовое производство многих светильников для освещения производственных, административно-общественных и сельскохозяйственных помещений. Многие технические решения были разработаны и использованы на практике впервые в стране и защищены авторскими свидетельствами и патентами В.В. Бармина. Общий объём выпуска таких изделий превышает 60 млн шт.

Многие годы В.В. Бармин налаживал и осуществлял производственные связи завода с ведущими научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями в стране. Так, в содружестве с ВНИСИ (Айзенберг Ю.Б., Кулаков И.А.) впервые разработаны и внедрены в серийное производство светильники с ЛЛ с корпусами на базе прессованных алюминиевых профилей, а в содружестве с ГПИ «Тяжпромэлектропроект» (Клюев С.А., Лурье М.Г) – требования к монтажно-эксплуатационным характеристикам светильников.

Совместно со специалистами ВНИСИ были организованы творческие поездки по изучению опыта ведущих фирм европейских стран, результатом которых стало внедрение на заводе прогрессивного технологического оборудования, в том числе экструзионных линий, литьевых машин, оборудования для разделки монтажных проводов и др.

Многие из реализованных под руководством В.В. Бармина проектов стали пионерскими для отечественной светотехники: это и освоение технологии изготовления крупногабаритных корпусных деталей методом профилирования, и производство тонкостенных экструдированных светотехнических профилей, крупногабаритных корпусных деталей и рассеивателей из термопластичных материалов для изготовления светильников с люминесцентными лампами для помещений с тяжёлыми условиями окружающей среды, и многое другое.

Отличительной чертой В.В. Бармина является новаторский подход к решению технических проблем. Он является автором 28 изобретений и свыше 30 рационализаторских предложений, экономический эффект от внедрения которых составил десятки миллионов рублей. В.В. Бармин – автор 40 печатных научных работ, всегда имеющих практический выход и реализацию в производстве.

Окончив Мордовский государственный университет по специальности «Светотехника и источники света», он продолжил своё образование в аспирантуре при ВНИСИ. Комплекс теоретических, исследовательских и практических работ получил обобщение в его диссертационной работе на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Творческая деятельность Виктора Васильевича Бармина отмечена орденом «Знак Почёта», медалями «За доблестный труд», «За трудовую доблесть», ему присвоено звание «Заслуженный изобретатель» и «Заслуженный работник электротехнической промышленности» Республики Мордовия. Он являлся многократным участником ВДНХ СССР, награждён серебряной и бронзовой медалями выставки, является дипломантом республиканских и общероссийских конкурсов.

Поздравляя Виктора Васильевича Бармина, редколлегия и редакция журнала «Светотехника», коллектив Ардатовского светотехнического завода, коллеги, ученики и друзья желают юбиляру здоровья и счастья, больших творческих успехов и многих радостей.

Дополнение от Академика АЭН РФ Ю.Б. Айзенберга

Наш юбиляр является редким по инженерному таланту человеком. По личным свойствам он отличается удивительной скромностью, добрейшим характером и заботой об окружающих, но главное свойство Виктора Васильевича – редчайшая целеустремлённость и воля к достижению реализации своей мечты – превратить кустарное производство на водяной мельнице на реке Алатырь в современный светотехнический завод. К этой цели юбиляр шёл более половины века, не отклоняясь от решения этой задачи ни на йоту. Отклонял все предложения переехать в Саранск, Москву и Петербург с высокой должностью, квартирой и зарплатой, отнюдь не той, которую имел в посёлке Тургенево под Ардатовым. Железная воля Бармина, увлечённость делом, изобретения, все внедрённые в серийное производство на своём заводе, а также непрерывный творческий рост сделали его легендарной фигурой в светотехнической отрасли.

Виктор Васильевич, как это ни удивительно, добился полной реализации своей мечты: сегодня АСЗ – серьёзное, великолепно оснащённое оборудованием предприятие, одно из лучших в нашей отрасли.

Конечно, в процессе работы по созданию нового завода Бармин был не один: с ним был коллектив завода и – прежде всего – технический персонал предприятия и передовые рабочие. Увлечены идеей были и владельцы завода, сделавшие большие инвестиции в приобретение лучшего зарубежного оборудования. Важно и то, что проект пользовался постоянной поддержкой республики Мордовии.

Я счастлив, что на моём жизненном пути мне удалось творчески и интересно поработать и много общаться с таким замечательным человеком как Виктор Васильевич Бармин. Желаю ему и его семье здоровья и многих радостей!

Летопись инженерных систем Эрмитажа

4 октября 2019 года в Зале Совета Государственного Эрмитажа состоялось представление книги Евгения Фёдоровича Визнера «История отопления и электроснабжения зданий Эрмитажа».

В кратком вступительном слове Алексей Валентинович Богданов, заместитель генерального директора Государственного Эрмитажа, поблагодарил собравшихся за внимание и интерес к книге, в которой подробно описаны все основные этапы строительства, эксплуатации и реконструкции систем отопления и электроснабжения Эрмитажа с 1837 до 2016 года. Он также отметил, что в книге использованы документы, находящиеся в архивах и службах музея. Затем Алексей Валентинович предоставил слово автору книги Е.Ф. Визнеру, проработавшему в энергетическом отделе Эрмитажа 40 лет, из них 18 лет (с 1976 по 1994 год) – на должности главного энергетика, подчеркнув, что эта книга является взглядом энергетика на то, как решался в прошлом и в наше время один и тот же вопрос, очень важный и актуальный для Эрмитажа, а именно – обеспечение техническими средствами оптимальных условий для продления сохранности экспонатов с соблюдением при этом нормированных санитарных условий для посетителей и сотрудников музея.

В кратком, лаконичном выступлении автор книги охарактеризовал основные технические и эволюционные работы по различным инженерным системам музея. Объём книги составляет 724 страницы (8 частей и 22 главы), 279 красочных иллюстраций, 454 ссылок в текстовой части рукописи на многочисленные архивные материалы Государственного Эрмитажа и ряда других организаций, принимавших участие в работах по описываемым в книге инженерным системам. При этом особо подчёркивается, что бесценные исторические реликвии музея были сохранены его сотрудниками в тяжелейшие блокадные дни, когда господствовал голод, холод, бомбардировки, обстрелы немецких захватчиков. В заключение своего выступления Евгений Фёдорович выразил глубокую признательность и благодарность сотрудникам отдела рукописей и документального фонда Государственного Эрмитажа, энергетического отдела, издательству «АРКА» и другим специалистам и организациям, чьи работы нашли отражение в материалах книги.

Также автор отметил, что особую роль в написании и издании книги сыграли генеральный директор Государственного Эрмитажа Михаил Борисович Пиотровский и его заместитель Алексей Валентинович Богданов. Затем последовали ответы автора на ряд вопросов.

Прибывший из Москвы на презентацию книги главный редактор журнала «Светотехника», профессор Владимир Павлович Будак высоко отозвался о ней и предложил разрозненные материалы по освещению всемирно известного музея сконцентрировать в одной книге, тем более, что материалов для этого имеется довольно много, и они представляют значительный интерес для светотехников, любителей музея, историков, специалистов, занимающихся реконструкцией и капитальным ремонтом осветительных установок исторических зданий и объектов культуры.

В заключение следует поздравить Государственный Эрмитаж с этой полезной книгой и пожелать крупным музеям, как российским, так и зарубежным, последовать этому замечательному примеру.

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

Фото 1. Участники презентации книги

Фото 2. Автор книги Т.Ф. Визнер и заместитель директора Государственного Эрмитажа А.В. Богданов

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

Продолжаем традиции публиковать в № 1 «Светотехники» работы студентов, занявших первые призовые места в конкурсе курсовых проектов по дисциплине «Компьютерная графика». Этот проект является первым по специальности для студентов, пришедших учиться на кафедру светотехники НИУ «МЭИ», который выполняется в осеннем семестре третьего курса, чтобы затем на протяжении всей оставшейся учебы средствами компьютерной графики были выполнены проекты, которые и сформируют специалиста. Однако первый взгляд – самый верный, поэтому можно представить, что несёт новое поколение в нашу область науки и техники.

Освещение художественной мастерской

ЧУКАНОВА А.С.

«Критик спрашивает меня:
«Каков же сюжет этой картины?»
«Сюжет этой картины, дорогой мой друг, – это свет»
Клод Моне

Мне всегда была близка живопись, я много читала про неё, посещала музеи и студии, рисовала сама. Поэтому при выборе места для освещения в курсовом проекте я выбрала художественную мастерскую. Эта работа будет интересна тем, кто задумывается о том, что происходит по ту сторону холста.

При выполнении проекта я побывала во многих художественных мастерских и пообщалась с настоящими художниками. Многие из них, честно сказать, работают в спартанских условиях: в тесных комнатах, наполненных тёплым светом без естественного освещения. А ведь эти факторы являются основополагающими для качественной работы художника. В помещении должно быть достаточно места, чтобы художнику можно было отходить от холста для всецелой оценки своей работы, переместить мольберт по необходимости, и просто чувствовать себя свободным; тёплый свет вызывает искажение цветов картины, т.к. человеческий глаз, по своему цветовому ощущению, компенсирует жёлтые оттенки синими; отсутствие естественного света влияет на утомляемость.

Какие же условия будут являться для художника идеальными? Конечно же, в первую очередь это работа при естественном свете, на пленэре. Но не всегда это бывает возможным, поэтому моя задача состояла в создании для художника комфортной световой среды, по характеристикам приближенной к естественной (дневной свет и пространство), реализовать это можно с помощью больших окон, которые выходят на север или северо-восток (так освещённость будет плавно изменятся в течении дня) и просторного помещения, с высокими потолками, а так же при использовании специальных источников света, чтобы светло было в любое время суток.

К источникам света для данной задачи есть особые требования. Лампочки должны быть с коррелированной цветовой температурой не меньше 5000 К (если меньше, то работа будет выполнена с избытком синих оттенков). Индекс цветопередачи более 80 (чем больше, тем лучше), плюс высокий индекс передачи красного. Коэффициент пульсации менее 1 %. Все эти требования я учла при разработке проекта с помощью специальных программ.

Геометрию помещения, некоторые элементы мебели и светильники я создавала в программе *3ds MAX* 2018, а текстуры накладывала в программе *Lightscape* 3.2, там же я задавала кривые силы света и другие параметры светильникам.

Рис. 1

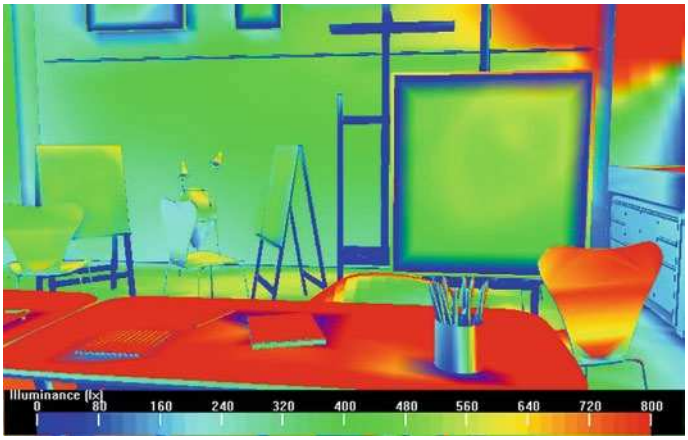


Рис. 2

Освещение мастерской я разделила на несколько видов: основное освещение, подсветка мольбертов, свет для постановки.

Для основного освещения я использовала светильники *Galad* Кайро 600 *LED*, световой поток которых составляет 3300 лм, коррелированная цветовая температура – 5000 К, а индекс цветопередачи – 80. Светильники с такими параметрами идеально вписались в атмосферу художественной мастерской с высокими потолками.

Но основного освещения всё же не хватало для освещения рабочего места – мольберта художника, поэтому было необходимо реализовать дополнительную подсветку.

И здесь начались проблемы. Ведь многие художники до сих пор рисуют под обыкновенным комнатным торшером, не задумываясь о последствиях. И нигде нет информации о том, как же обустроить идеальный свет. Вот мне и пришлось немного проявить фантазию и придумать что-то своё, уникальное. Я сконструировала мольберт со встроенной подсветкой, расположенной сверху под углом 45 градусов. Её можно будет вращать и передвигать с помощью специальных механизмов. Но главное, что туда можно будет вставить лампу, которая будет удовлетворить индивидуальным предпочтениям творца (рис. 1).

Итак, я смоделировала ситуацию, когда художник рисует за мольбертом, расположенным вертикально. Вертикальная освещённость не нормируется, поэтому я взяла приблизительное значение 400 лк, которые будут соответствовать данной зрительной работе. Я взяла лампу *Philips MASTER LEDtube Mains T5*, световой поток которой составляет 1575 лм, коррелированная цветовая температура – 5500 К, индекс цветопередачи – 83. С её помощью я добилась равномерной освещённости на картине с нужным значением (рис. 2).

Третий светильник служит для подсветки постановки. Здесь важно получить нужные блики на натуре, натюрморте или фигуре, поэтому необходимо, чтобы светильник можно было перемещать в трёхмерном пространстве. При этом, опять же, следует соблюдать требования к светильникам, которые я выдвинула в начале. Для этого я предлагаю использовать светильник, который собран из нескольких светодиодов с разной коррелированной цветовой температурой, которые при смешении обеспечивают хорошую цветопередачу, которая важна для получения идеальной работы без искажения цветов.

Таким образом, с помощью инструментов компьютерной графики я создала мастерскую, в которой художнику будет комфортно. Здесь учтены и все важные моменты, которые будут не только помогать автору создавать шедевры, но и вдохновлять на дальнейшее творчество.

Проект освещения «зелёного» эко-кафе

КРАСНОВ С.

С каждым годом в городах становится все меньше зелени. Парки застраивают под жилые комплексы, а леса, к сожалению, гибнут от близлежащих предприятий. В связи с этим встает вопрос искусственного озеленения общественного пространства. Здесь возникает одна из основных тенденций современной архитектуры – экологический дизайн. В это понятие входит и использование экологичных натуральных материалов, и воссоздание природной среды в окружении человека, и энергосберегающие технологии. Эти тенденции требуют нового подхода к искусственному освещению общественного пространства. В частности, это касается и многочисленных «зеленых» кафе, открывающихся в последнее время.

В таких местах растения являются частью интерьера и помогают создать умиротворенную атмосферу. На сегодняшний день они обладают самыми разнообразными архитектурными или интерьерными решениями, но со светотехнической стороны такие кафе зачастую ничем выделяются. Как следствие, становится актуальной задача разработки системы освещения, учитывающей специфику таких заведений.

При разработке данного проекта мной были поставлены следующие задачи:

• Создание комфортной световой среды для посетителей и работников.

• Выстраивание освещения, выделяющего растения как основной декоративный элемент интерьера.

• Формирование личного пространства путем зонирования помещения с помощью освещения и растений.

• Максимальное использование естественного освещения.

• Использование экологичного и экономичного осветительного оборудования.

За основу проекта было взято помещение площадью 130 кв.м. Оно предусматривает наличие раздаточной зоны, барной стойки, а также 40 сидячих мест для посетителей.

Естественный свет, проникает сквозь большое панорамное окно, а также два арочных окна в дальней части кафе.

В качестве декоративного оформления зала были использованы перегородки из живых растений, стена, покрытая вьющимися растениями, два дерева, кустарники и различные комнатные растения. Отличительная черта – стеклянный пол, под которым растет трава.

В качестве монтажной области для светильников на потолке предусмотрены фальшбалки из дерева.

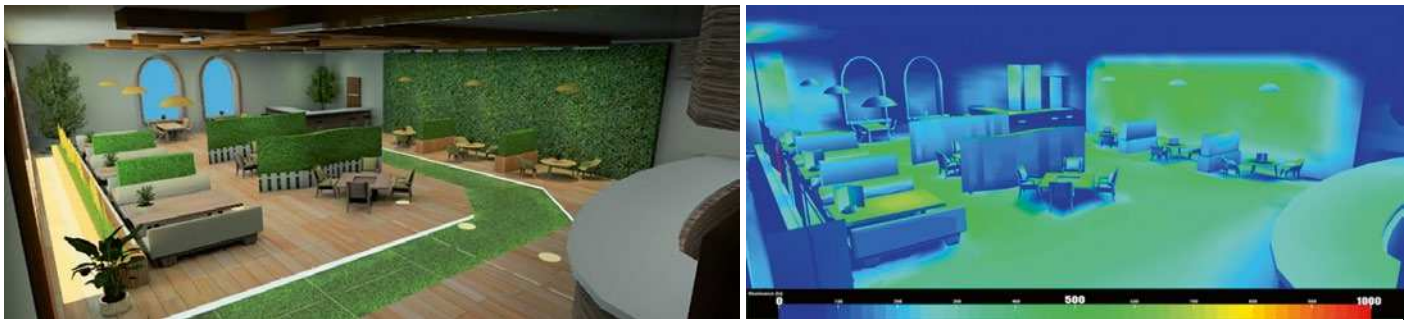


Рис. 1. Комбинированное освещение днем

Рис. 2. Локализованное освещение вечером

Основным материалом, в интерьере является дерево, кроме того, было использовано стекло, металл и ткань.

Геометрия помещения была создана в программе 3D Studio MAX. Наложение текстур, моделирование светильников и дальнейшая визуализация, а также светотехнический расчет производились с помощью программы *Lightscape*.

Для общего равномерного освещения, а также создания различных световых эффектов используется светодиодная *RGB* лента *Smart Light* от *Philips*, вмонтированная в виде сетки в декоративные балки на потолок и стеклянный пол.

В центре зала на столы направлены Трековые светильники *EcoStyle* от *Philips* – они позволяют отделить зоны от окружающего пространства и при этом не нарушают интерьер кафе.

Для освещения растений зеленым светом используются подвесные светодиодные панели *Maxos fusion* от *Philips*. Зеленый свет позволяет выделить флору как часть интерьера, сделать её ярче и насыщеннее.

Собственный светильник: подвесная светодиодная лампа, которая создает локальное освещение на столиках по периметру кафе. Теплый свет (3000 K) создает уютную домашнюю атмосферу и помогает расслабиться.

При проектировании освещения были соблюдены нормы освещенности для предприятий общественного питания согласно СП 52.13330.2016: Стол для посетителей: 200 лк., Раздаточная: 300 лк.

В проекте реализованы две концепции, которые представляют собой комбинированное (рис. 1) и локализованное освещение (рис. 2).

При общем равномерном освещении создается равномерная освещенность по всей площади помещения. Это будничная, повседневная схема освещения.

Преимущества локализованного освещения перед общим равномерным заключаются в сокращении мощности осветительных установок, возможности создать требуемую атмосферу путем направления светового потока на столы посетителей.

Приглушенный теплый свет в вечернее время создает обстановку уединенности, помогает расслабиться и отдохнуть.

Данный проект предусматривает совмещение двух видов освещения в одной сцене и переключение между ними в зависимости от конкретной ситуации.

Днем свет проникает сквозь большое окно и общее освещение по сути является его продолжением. а вечером, когда на улице включают фонари, кафе замирает в приглушенном свете. С помощью визуального разграничения пространства на относительно небольшой площади даже большим компаниям будет комфортно. Тут нет дорогих материалов, эксклюзивных вещей, но есть атмосфера –которую прежде всего создает свет. От уровня освещения, его направления, цветности эта атмосфера будет зависеть в значительной степени.

В этой работе было предложено решение задачи освещения места общественного питания, выполненное с учетом требований современного экологического дизайна. По сравнению с традиционным дизайном это решение позволяет создать для человека комфортную среду, близкую к естественной, сэкономить на электроэнергии и утилизации.

Освещение концертной площадки

СЕРПИКОВ А.О.

Введение

Данная тема курсового проекта выбрана по следующей причине. Зачастую, приходя на концерт люди ждут незабываемых впечатлений. Для кого-то это долгожданная встреча с кумиром, а кто-то просто захотел интересно провести вечер. Но в каждом из этих случаев посетители намерены увидеть шоу. И освещение в данном мероприятии играет огромную роль. Но недостаточно просто осветить помещение, т.к. люди не только слушают, но и смотрят на исполнителя. На мой взгляд нужно подойти к этой задачи с творческой стороны, что я и постарался реализовать в своём проекте. И мои главным решением стало цветовое освещение, ведь цвет может передать эмоции. Он может создать как атмосферу спокойствия (зелёный), атмосферу освобождения от страхов (фиолетовый) так и атмосферу невероятной тревоги (красный).

Моделирование

Начальным этапом проекта являлось моделирование самого помещения. В *3ds Max* была сформирована первичная архитектура концертной площадки (стены, потолок, сцена). Далее совершался импорт первичной модели в *LightScape*, где были установлены более детально предметы интерьера (бар, стулья, колонки). После чего моей задачей стояло наложение текстур, которые будут наиболее подходить для зрительного зала.

Так как главной концепцией моего проекта стало цветовое освещение, то задачей стояло нахождение светильников, в которых присутствует управление цветом. Подходящим прибором стал светодиодный прожектор *Chauvet DJ Slimpar T*12, который состоит из 12-ти ламп типа *LED*. Эти светодиоды трехцветные, поэтому создают естественный тон цветов. Также достоинством данного прожектора является лёгкость в синхронизации и управлении цветом. А для создания атмосферы на местах я выбрал смарт лампы *Arilux*, которые также очень просты в управлении.

Постановка задачи

Для решения задачи мы должны были сделать модель, по которой оценивалась бы освещённость. В качестве модели я выбрал цилиндр и поместил его в центр сцены. Задачей было достичь освещённость, которая удовлетворяла бы нормам освещения. В нашем случае освещённость на цилиндре должна распределяться равномерно и быть примерно равной 250–300 люксам. Для равномерного освещения мы установили 3 ряда прожекторов на потолке. Таким расположением возможно обеспечить равномерность, а также нацеленность освещения на объект.

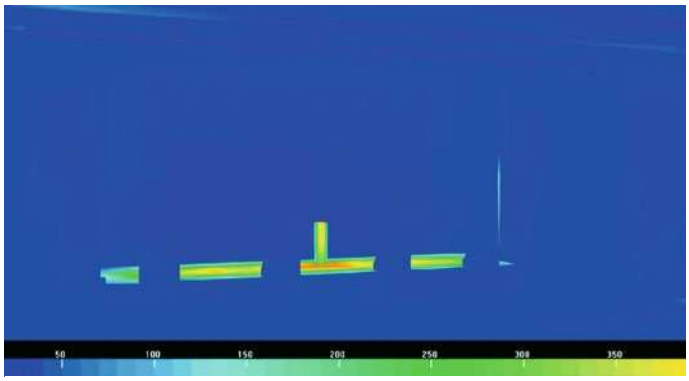


Рис 1. Псевдоцвета

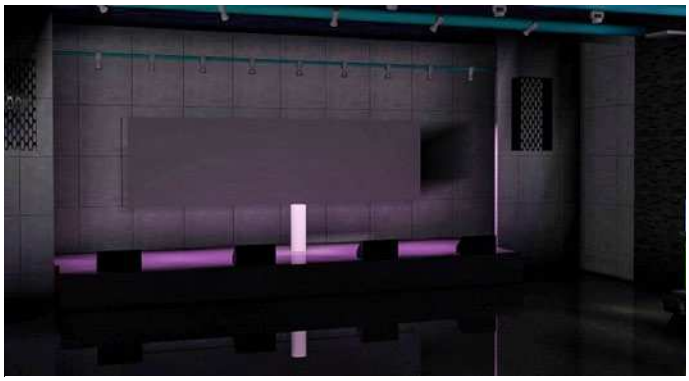


Рис 2. Визуализация

Решение

На рисунке 1 мы видим результат нашего решения. Значения освещённости лежат в заданных нами пределах. На этапе установки освещения возникли трудности в выборе количества прожекторов и в равномерности их распределения. На мой взгляд этот этап являлся самым трудным в данном проекте, т.к. мы должны были соблюсти указанные нами нормы освещённости и также не забыть об эстетической составляющей самой композиции на сцене.

На рисунке 2 представлен результат визуализации нашей концертной площадки. Сцена и зал приобрели определённую атмосферу, который мы можем управлять с помощью изменения цвета прожекторов.

Дискуссия

Полученный результат наглядно даёт нам понять, что благодаря освещению человек может полностью погрузиться в атмосферу композиции и залог успеха выступления артиста во многом зависит от креативного решения освещения. Полученное решение является универсальным и может быть использовано для абсолютно разных типов выступлений, как для концертов, так и для театральных постановок. И, сравнивая полученный результат с обычным белым светом прожекторов, можно сделать вывод, что фантазия человека и его ощущения будут более яркими и разнообразными для любого рода выступлений в полученной нами концепции.

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

1. Название
2. ФИО авторов, место работы, e-mail
3. Аннотация 200–250 слов. Аннотация – это метаданные, публикуются на сайте отдельно от статьи, доступно всем бесплатно, что позволяет оценить необходимость изучения самой статьи. Для чиновников Международных науко-метрических баз данных служат для точно классификации статьи. Пишется в формате *IMRAD* – по сути, по два предложения на каждый пункт.
4. Ключевые слова на русском и английском языках не более 10-15 слов – так же метаданные. Сами слова могут в статье и не встречаться, их назначение – точное определение области исследований публикации.
5. Структура статьи в формате *IMRAD* (лучше, чтобы и разделы так и назывались):

– Введение (*Introduction*): для экспериментальных работ – точная формулировка решаемой научной задачи; для обзоров – цель обзора; для теоретических работ – постановка задачи, для которой позднее в статье будет дана точная формулировка.

– Методы (*Methods*): для экспериментальных работ – настолько точное описание установки, чтобы любой читатель мог повторить эксперимент, для теоретических работ – все основные приёмы и методы решения, позволяющие заинтересованному читателю получить окончательные выражения самому; обзорам определение метода не требуется.

– Результаты (*Results*) – должны быть указаны все основные новые научные результаты.

– Дискуссия или заключение (*Discussion*) – необходимо проанализировать, что дают новые результаты для данной области науки, каково их соотношение с действующей теорией.

– Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (*Acknowledgement*).

– Список литературы. Желательно не менее 10-12 источников литературы, причём из них около 40 % иностранные источники.

6. На отдельной странице приводятся (на английском языке):

– Название статьи.

– Имена и фамилии авторов (как в загранпаспорте).

– Официальное название места работы.

– Аннотация и ключевые слова.

– Список ссылок на статьи из журнала «Светотехника» дополнить соответствующими ссылками на статьи из журнала «*Light & Engineering*» (если они есть).

Список литература

Научная статья является частью развивающейся мировой научной дискуссии, поэтому в списке литературы должно быть не менее 30% адекватных ссылок на публикации ведущих мировых научных изданий на английском языке, входящих в базы данных цитируемых международных агентств, например, Scopus и Web of Science. Среди ссылок на статьи из баз должны быть статьи, опубликованные не позднее двух-пяти лет назад.

Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

Рецензенты дают заключение по следующим пунктам: а) соответствует ли статья тематике журнала; б) является ли статья оригинальным исследованием или обзором; в) приведены ли в оригинальном исследовании чётко сформулированные новые научные результаты; г) достаточно ли надёжно обоснованы выводы статьи; д) понятно ли изложен материал статьи, соблюдено ли в ней единообразие в терминах и обозначениях; е) соблюдена ли структура IMRAD; ж) приведены ли ссылки на свежие данные и работы по теме, опубликованные в журналах, входящих в базы цитирования, например, *Scopus* и *Web of Science*.

В случае несоответствия тематике журнала, или отсутствия в статье сформулированного научного результата, или при значительном количестве выявленных фактических ошибок статья может быть отклонена от публикации без подробной рецензии.

При положительном заключении рецензентов, статья редактируется и отправляется в вёрстку. Редакция не согласовывает с авторами изменения и сокращения рукописи, имеющие редакционный характер и не затрагивающие принципиальных вопросов.

Оформление статьи

Оформление списка авторов

Первыми указываются инициалы, затем фамилия. Если коллектив авторов включает сотрудников разных учреждений, следует указать место работы почты каждого автора сноской при фамилии автора. Хотя бы для одного автора должен быть указан адрес *электронной почты для корреспонденции.*

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, занятие научно-общественной деятельностью, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронной виде: не менее 25×32 *мм*, от 300 *dpi*.

Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоминания в тексте. Название иллюстрации или рисунка пишется после номера таблицы или рисунка.

Все графы в таблице имеют заголовки и разделяются вертикальными линиями. Сокращение слов в таблицах не допускается. При наличии в тексте одной таблицы таблица не нумеруется. В таблице без заголовка (что нежелательно) пишется только слово «Таблица».

Авторам следует избегать повторения одних и тех же данных на рисунках, в таблицах и в тексте.

Используемые сокращения

Следует избегать введения новой терминологии. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми (использоваться физические величины, единицы и обозначения, в частности, принятые в Международной системе СИ и Международном светотехническом словаре (М.: Русский язык, 1979)) Справочной книге по светотехнике (3-е изд.) 2006 г.

Все употребляемые в статье обозначения (за исключением общеизвестных констант типа e, h, c, π и т. п.) и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте.

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 *A4* 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.

После успешного рецензирования статьи на русском языке и её принятия к публикации в журнале «Светотехника», просим авторов сделать перевод полного редактированного текста на английский язык, что позволит ускорить публикацию статьи в журнале «*Light & Engineering*».

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

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

BL Group International Lighting Engineering Corporation
BOOS LIGHTING GROUP

ВНИСИ

REFLUX HID Lighting systems

interlight RUSSIA | intelligent building RUSSIA

Читайте в следующем номере журнала

«Актуальные вопросы современного внутреннего освещения»

Обзорная статья одного из крупнейших специалистов в области светотехники – профессора ***В. ван Боммеля*** – представляет собой фундаментальный анализ современного состояния такого важного направления в светотехнике, как внутреннее освещение. Основанная на опубликованной автором в 2019 г. 500-страничной книге «Внутреннее освещение: основы, технология и применение», статья затрагивает большое количество аспектов применения современных источников света в освещении интерьера, включая вопросы незрительного биологического воздействия света и применения его как средства передачи данных.

«О методе проектирования архитектурного освещения производственного интерьера»

Продолжение одноимённой статьи ***В.В. Воронова*** и ***Н.И. Щепеткова***, опубликованной в этом номере. В статье описываются способы проведения и результаты экспериментов методами плоскостного графического и объёмного макетного светомоделирования на специально созданной установке моделирования архитектурного освещения в МАРХИ в 1970–1985 гг. По результатам экспериментов и их анализа была установлена необходимая достоверность и практическая надёжность результатов объективно-субъективной оценки качества освещения исследуемых интерьеров по распределению яркости и светонасыщенности, полученная в натурных и лабораторных условиях, что позволило разработать требования и рекомендации по качественной оценке световой среды производственных интерьеров с верхним светом при естественном и искусственном освещении, развивающие и дополняющие нормы в части эстетики освещения.

«Аналитическое представление взаимосвязи угловой высоты Солнца и местного времени при расчётах естественной облучённости и освещённости земной поверхности»

Общая тенденция к математической формализации результатов светотехнических исследований определила основную цель статьи ***А.В. Леонидова***, заключающуюся в аналитическом представлении данных о взаимосвязи угловой высоты Солнца и местного времени произвольной точки земной поверхности, необходимой для расчётов её естественной облучённости и освещённости. Полученные в работе результаты позволили формализовать и в значительной мере упростить проведение расчётов естественной облучённости и освещённости земной поверхности, обеспечить возможность установления в аналитической форме влияния солнечного излучения на характеристики разного рода зрительных процессов, зрительной работоспособности и циркадианной активности организма человека.

«Асимметричное приближение эффективной среды для описания оптических характеристик случайно-неоднородных сред с дискретными вкраплениями»

В статье ***Л.А. Апресяна*** и ***Т.В. Власова*** рассмотрены два варианта приближения эффективной среды (*Effective Medium Approximation, EMA*) для случая среды с дискретными вкраплениями, в которых учитывается отличие односвязной топологии матрицы от топологии одиночных частиц. Один из них не сильно отличается от обычно используемого симметричного приближения Бруггемана и даёт такой же порог протекания, тогда как для второго это отличие более существенно и соответствует более низкому значению порога.

Оба приближения легко обобщаются на случай хаотически ориентированных эллиптических частиц. Можно ожидать, что использование этих приближений найдёт полезные применения в практических приложениях.

«Энергия, информация и запредельные скорости в квантовой электродинамике»

В обзоре ***Б.А. Векленко*** рассмотрены известные уравнения квантовой электродинамики, следствия которых предсказывают наличие в природе сверхсветовых скоростей, переносящих энергию.

Без использования теории возмущений на примере рассеяния квантованного электромагнитного поля возбуждённым атомом продемонстрирована допустимость в стандартной квантовой электродинамике сверхсветовых сигналов, переносящих информацию.

Используя принцип соответствия между квантовой и классической теориями, можно предположить, что имеющие классический аналог, «средние величины» в квантовой теории электромагнитного поля не должны изменяться со скоростями, превышающими скорость света в вакууме. Остаётся вопрос: нельзя ли превзойти скорость света за счёт дисперсий, то есть за счёт квантовых флуктуаций?

Отличительной особенностью разобранного в работе примера служит следующая из уравнений квантовой электродинамики очевидная возможность передачи энергии и информации с бесконечно большой скоростью. Такая скорость обусловлена не скоростью света, а скоростью передачи корреляционных свойств волновых функций, описывающих состояние квантовой системы

«Исследование режимов работы управляемой системы освещения «Симистроный диммер – светодиодный источник света с управляемым драйвером»

В статье ***Н.П. Кондратьевой, Д.А. Филатова*** и ***П.В. Терентьева,*** описаны исследования влияния светорегулятора на работу источника света и электромагнитную совместимость управляемой системы освещения. Установлено, что при снижении активной мощности источника света снижается его световой поток, температура нагрева источника света, коэффициент мощности системы освещения, а коэффициент нелинейных искажений системы освещения увеличивается, причём эти изменения носят нелинейный характер.

Получены математические выражения изменения светового потока, температуры нагрева, коэффициента мощности и коэффициента нелинейных искажений при изменении активной мощности источника света. Сделан вывод, что при использовании светорегулятора (диммера) вместе с возможностью экономии электроэнергии и увеличения срока службы управляемой системой освещения ухудшается качество электроэнергии и электромагнитная совместимость данной системы.

СветоСервиС
ГРУППА КОМПАНИЙ
ООО «Светосервис-Подмосковье» :
инновационные решения в освещении для столицы и регионов
Полный спектр услуг в области
• Проектирования
• Монтажа
• Обслуживания
• Управления Системами Функционального, архитектурного и ландшафтного освещения
ООО «Светосервис - Подмосковье»
129626, Москва,
1-й Рижский пер., 6
svetoservis.ru
+7 (495) 786-85-82

Оформить подписку, купить журнал или статью можно на сайте журнала «Светотехника» www. l-e-journal.com

(периодичность издания 1 раз в 2 месяца)

«Светотехника». Полугодовая подписка на 2020 г.

«Светотехника»	бумажная	1 995 руб.
«Светотехника» для физ. лиц	электронная	1 800 руб.
«Светотехника» для юр. лиц	электронная	6 000 руб.

«Светотехника». Годовая подписка на 2020 г.

«Светотехника»	бумажная	3 990 руб.
«Светотехника» для физ. лиц	электронная	3 600 руб.
«Светотехника» для юр. лиц	электронная	12 000 руб.

«Light & Engineering». Полугодовая подписка на 2020 г.

«Light & Engineering»	бумажная	80 долл. США*
«Light & Engineering» для физ. лиц	электронная	70 долл. США*
«Light & Engineering» для юр. лиц	электронная	140 долл. США*

«Light & Engineering». Годовая подписка на 2020 г.

«Light & Engineering»	бумажная	160 долл. США*
«Light & Engineering» для физ. лиц	электронная	140 долл. США*
«Light & Engineering» для юр. лиц	электронная	275 долл. США*

Стоимость журнала

«Светотехника»	бумажная	680 руб.
«Светотехника»	электронная	600 руб.
«Light & Engineering»	бумажная	40 долл. США*
«Light & Engineering»	электронная	35 долл. США*

Стоимость статьи

«Светотехника»	электронная	400 руб.
«Light & Engineering»	электронная	6 долл. США*

*Примечание: по курсу ЦБ на дату оплаты

Купить журнал «Светотехника» для детей и их родителей можно на сайте журнала «Светотехника» www.l-e-journal.com

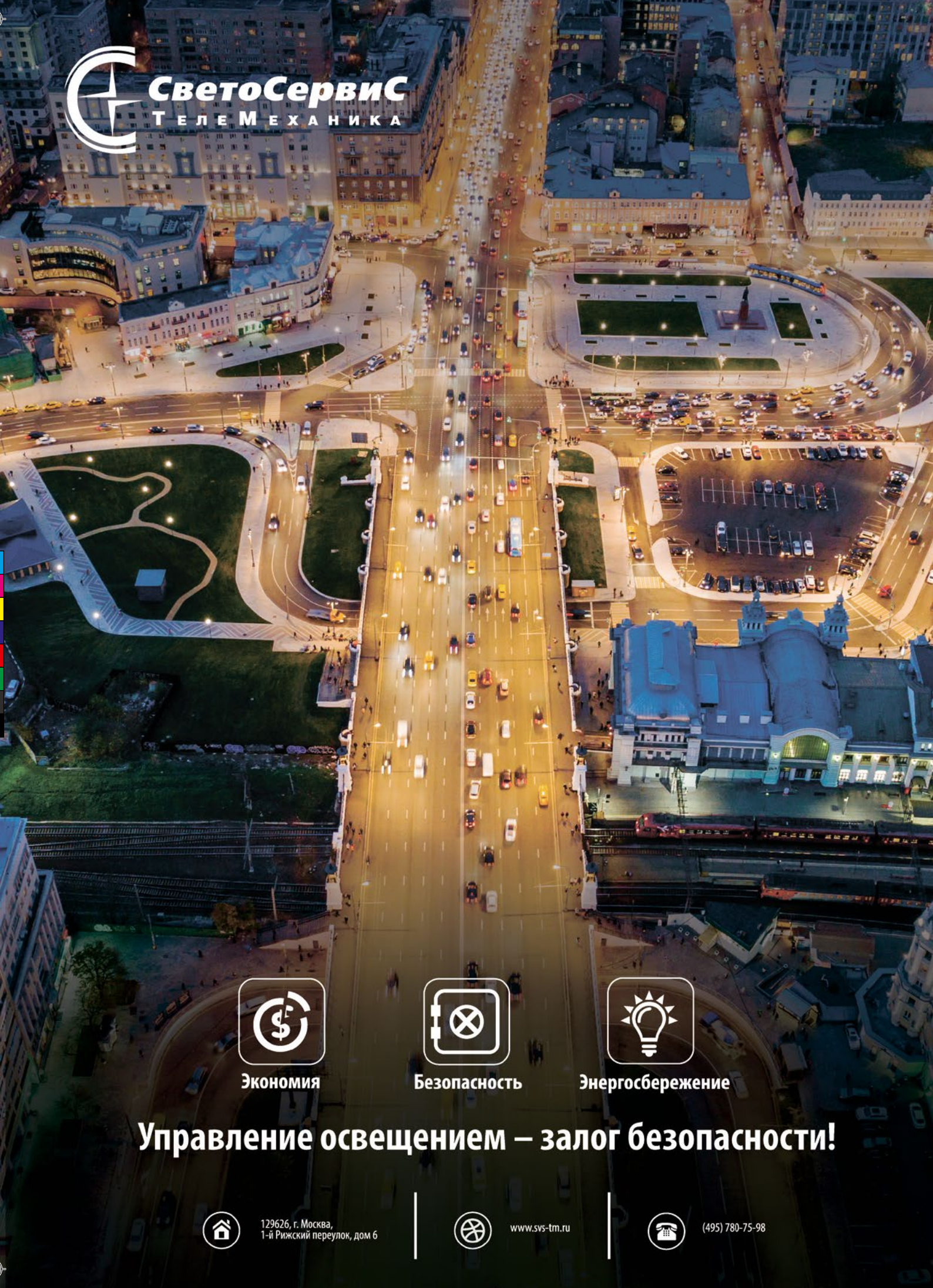
(периодичность издания 3 раза в год)

Журнал «Светотехника» для детей и их родителей

Бумажная	690 руб.
Электронная	300 руб.

Адрес редакции: 129626, г. Москва, Проспект Мира, д. 106, офис 331
Тел. (495) 682-58-46, 682-19-04, E-mail: bulgakova@l-e-journal.com

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.

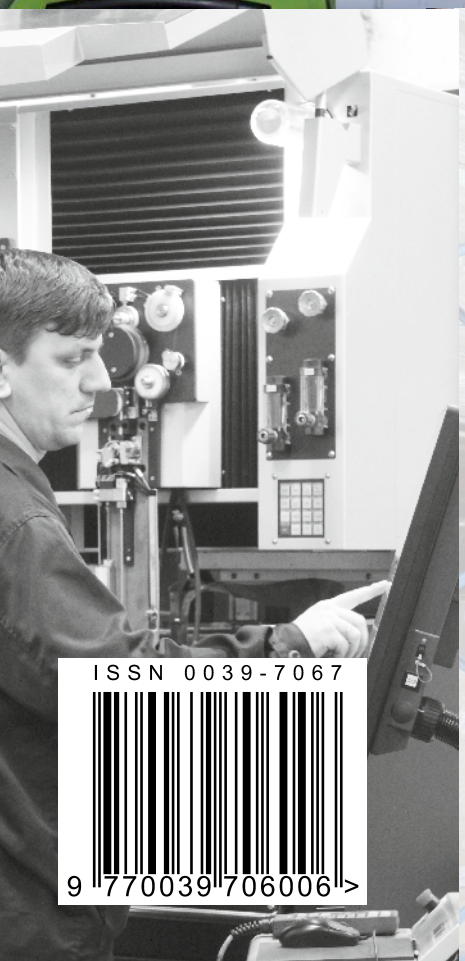

СветоСервиС
ТелеМеханика
Экономия
Безопасность
Энергосбережение
Управление освещением – залог безопасности!
129626, г. Москва,
1-й Рижский переулок, дом 6
www.svs-tm.ru
(495) 780-75-98

Лихославльский завод «Светотехника»

Российское производство

с качеством мирового уровня

- Наука
- Технологии
- Опыт
- Признание
- Экспорт



Более 50 серий и свыше 1000 модификаций продукции

171210, Тверская область,г. Лихославль,
Первомайская улица, 51, тел: (48261) 3-59-04

www.galad.ru www.bl-g.ru

ISSN 0039-7067

9 770039 706006 >