
ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА РОССИИ

Всероссийская научно-техническая конференция

22 сентября 2022 года, г. Москва

Сборник научных докладов

Санкт-Петербург
2022

УДК 629.9
ББК 31.294
И 66

Рекомендовано к печати
Российским национальным комитетом Международной
комиссии по освещению (РНК МКО)

Редакционная коллегия:

Шахпарунянц А.Г., Будаков В.П., Григорьев А.А.,
Белов М.Л., Железникова О.Е., Полисадова О.Е.

Программный комитет конференции:

Шахпарунянц А.Г., Будаков В.П., Григорьев А.А., Макаров Д.Н., Прикупец Л.Б.,
Желтов В.С., Смирнов П.А., Мешкова Т.В., Снетков В.Ю., Столяревская Р.И.,
Барцев А.А., Юшков Д.Д., Коробко А.А.

Рецензенты:

Будаков В.П., проф., доктор технических наук, НИУ «МЭИ»;
Столяревская Р.И., доктор технических наук, Российский национальный
комитет Международной комиссии по освещению.

И 66

Инновационная светотехника России: сборник научных докладов Всероссийской научно-технической конференции, 22 сентября 2022 г., Москва. / отв. ред. П.А. Федорищев. – СПб. : Изд-во «Ниц Арт», 2022. – 148 с. : ил.

ISBN 978-5-907615-05-2

DOI: 10.51623/90761505

В сборнике представлены научные доклады участников Всероссийской научно-технической конференции «Инновационная светотехника России», состоявшейся 22 сентября 2022 года в Москве.

EDN: LEDPLN



ISBN 978-5-907615-05-2

© ООО «РНК МКО», 2022
© Издательство НИЦ АРТ, 2022

О КОНФЕРЕНЦИИ «ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА РОССИИ»



Всероссийская научно-техническая конференция «Инновационная светотехника России» проводится ежегодно в рамках Международной специализированной выставки по светотехнике и осветительной технике *Interlight Russia | Intelligent building Russia*. В 2022 году конференция прошла 22 сентября 2022 г. в городе Москве.

Организатором конференции выступил Российский национальный комитет Международной комиссии по освещению (РНК МКО) совместно с компанией «Гефера Медиа» и при поддержке выставки *Interlight Russia | Intelligent building Russia*, ВНИСИ им. С.И. Вавилова, ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», НИТПУ, ФГБОУ ВО НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА», а также корпоративного члена РНК МКО со статусом «Платиновый» ООО «Брайтэлк».

Участниками конференции стали учащиеся российских вузов по профильным специальностям (бакалавриат, специалитет, магистратура), аспиранты, соискатели, молодые ученые и специалисты, занимающиеся научно-техническими и прикладными исследованиями, опытно-конструкторскими и проектными работами в сфере светотехники и осветительной техники.

В рамках конференции также был проведён конкурс «Молодые светотехники», направленный на выявление лучшего научного доклада в области светотехники среди учащихся вузов и специалистов не старше 35 лет.

Программный комитет конференции, сформированный из специалистов профессорско–преподавательского состава технических вузов, сотрудников научно-исследовательских учреждений и светотехнических компаний, осуществил рецензирование докладов участников конференции, поданных с заявкой на участие в конференции, и выполнил предварительную оценку докладов для их последующей публикации и участия в конкурсной программе.

По результатам оценки жюри конкурса, в состав которого вошли представители всех вышеназванных вузов и научных организаций, была сформирована программа очного заседания конференции на выставке *Interlight Russia | Intelligent building Russia 2022*.

Программа очного заседания конференции была совмещена с финалом конкурса «Молодые светотехники» и включала в себя 8 отобранных жюри конкурса докладов.

По итогам выступлений победителями и призёрами конкурса стали:

- 1 место – Жбанова Вера «Цифровой колориметр для исследования объектов сложной формы и неравномерного цвета», Филиал НИУ «МЭИ» (г. Смоленск)
- 1 место – Сурков Илья / Феник Максим «Моделирование спектров излучения трехкомпонентных структур органических светодиодов», НИУ «МЭИ» (г. Москва)
- 2 место – Владимиров Иван «Исследование особенностей цветового восприятия людьми разного пола», НИУ «МЭИ» (г. Москва)
- 3 место – Трущенко Екатерина «Система архитектурно-художественного освещения объектов деревянного зодчества», ТПУ (г. Томск)

Настоящее издание включает в себя все прошедшие рецензирование и принятые Программным комитетом конференции доклады. Сборник докладов конференции издан при финансовой поддержке корпоративного члена РНК МКО компании ООО «Брайтэлек» и компании ООО «ТД АЙПРО».

Приглашаем всех желающих принять участие в следующей конференции «Инновационная светотехника России», запланированной на осень 2023 г.

Вся информация о конференции размещена на сайте Российского национального комитета МКО по адресу <https://cie-russia.ru>.

Дорогие друзья!

За сравнительно небольшой срок подготовки конференции «Инновационная светотехника России» и конкурса «Молодые светотехники» нам удалось привлечь к участию в конференции 28 докладов из ведущих технических вузов страны, занимающихся светотехникой. И программный комитет конференции, и жюри конкурса включали в себя представителей профессорско-преподавательского состава МЭИ, Томского политехнического университета, МГТУ им. Баумана и Мордовского государственного университета.

В этой связи от имени организационного комитета я хотела бы поблагодарить всех членов нашего жюри за участие в работе конференции, время и силы, потраченные на эту работу.

В настоящий сборник трудов вошли все поданные на конференцию и прошедшие рецензирование доклады, как те, что прозвучали в рамках программы очного заседания конференции, так и не вошедшие в неё. Уверена, что труды конференции станут полезным и интересным подспорьем для всех специалистов в области света и освещения.

Кроме того, надеюсь, что представленные в этом издании доклады вдохновят тех, кто только начинает свой путь в светотехнике – студентов, бакалавров и магистров – на серьёзную исследовательскую работу, что, в конечном итоге, придаст новый импульс развитию всей светотехнической отрасли нашей страны.

*А.Г. Шахпаруняни,
кандидат технических наук,
Председатель оргкомитета
конференции, Президент
Российского национального
комитета МКО, генеральный
директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова*

Уважаемые коллеги!

Конференция «Инновационная светотехника России» выросла из проводившейся 30 лет конференции «Молодые светотехники России». Причина развития конференции очевидна – у нас практически исчезли конференции по светотехнике. Их заменили, по сути, ведомственные совещания по очень узким техническим проблемам. Как определить уровень конференции? По индексу Хирша авторов, принимавших в ней участие. Можно возразить, что таков запрос отрасли. Однако наука должна опережать отрасль, должна показывать направления её развития. В этом смысле создание конференции по новейшим направлениям светотехники, объединение её с конференцией молодых светотехников является важным событием в светотехнической отрасли нашей страны. Более того, сейчас нам для развития крайне важен сплав молодости и зрелости в науке, поскольку за прошедшие годы явно наметился разрыв поколений.

Вообще, я противник деления конференций по любому признаку кроме научных областей. В науке есть только один набор критериев: актуальность, следующая из анализа состояния вопроса в современной литературе, новизна, основанная на том же анализе литературы, обоснованность, опирающаяся на строгость теоретических построений или тщательности проведения эксперимента, и достоверность, предполагающая критический анализ новых результатов с позиций современной теории. Заметим, новый результат должен обязательно либо в чём-то противоречить существующей теории, либо её обобщать.

Нельзя не отметить, что конференция во многом оправдала возлагавшиеся на неё надежды по развитию светотехники. Да, можно указать на недостатки. Но я твердо уверен, что в голодное время мы рады и подгоревшему хлебу. Хочется особо отметить, очень интересные работы в области колориметрии, которые соответствуют мировым достижениям в этой области и поистине являются украшением конференции.

Конференция должна быть основана на критериях высокой науки, что не исключает проведения в ней конкурсов среди специальных групп участников. В рамках данной конференции был проведен конкурс «Молодые светотехники», что явилось продолжением традиций. Работы на конкурс тщательно отбирались, каждая была по-своему интересна и содержательна. Представляется, что конкурс послужил хорошей рекламой для молодых заняться наукой.

В заключение хочется пожелать конференции развития и дальнейших успехов!

***В.П. Будаков,
профессор кафедры светотехники
НИУ «МЭИ», доктор технических наук,
главный редактор журнала
«Светотехника / Light & Engineering»,
глава Отделения 8 РНК МКО***

О МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ ПО ОСВЕЩЕНИЮ

Международная комиссия по освещению (*International Commission on Illumination*, МКО) – всемирная общественная организация, основанная в 1913 году и объединяющая специалистов в области светотехники и освещения.

МКО является высшим авторитетом по вопросам освещения, признанным Международной организацией по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссией (МЭК) как международный орган по стандартизации в области освещения.

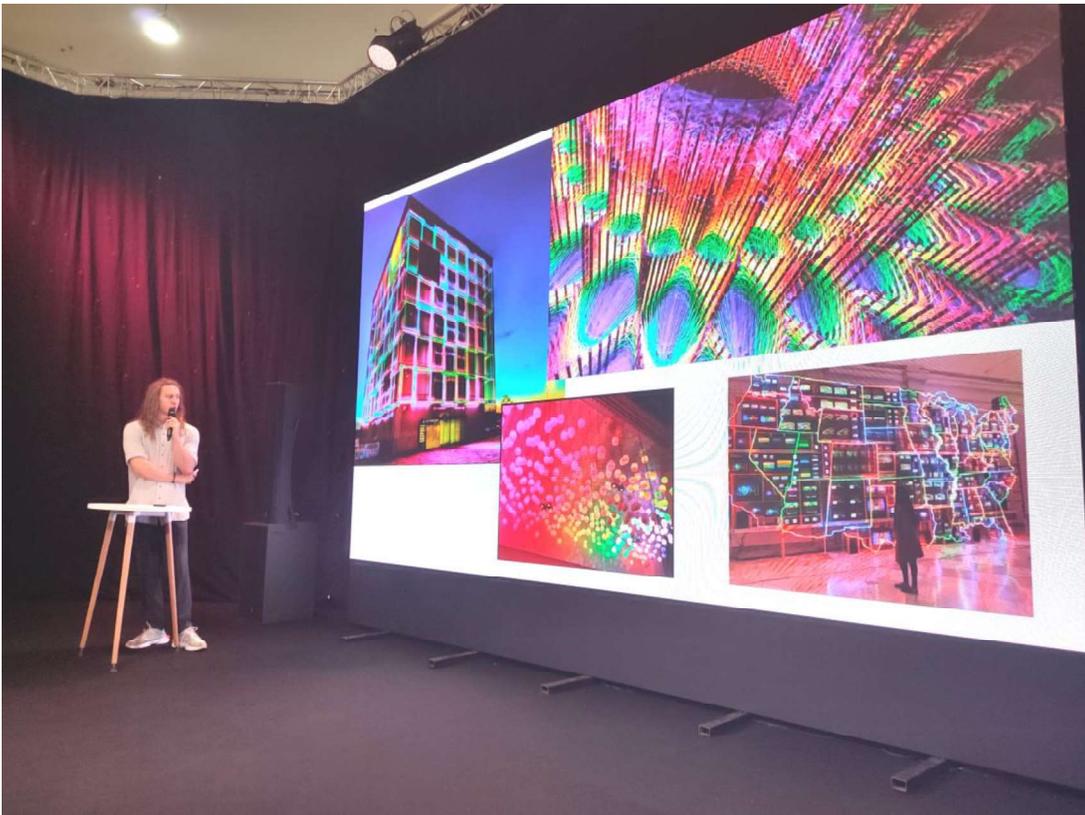
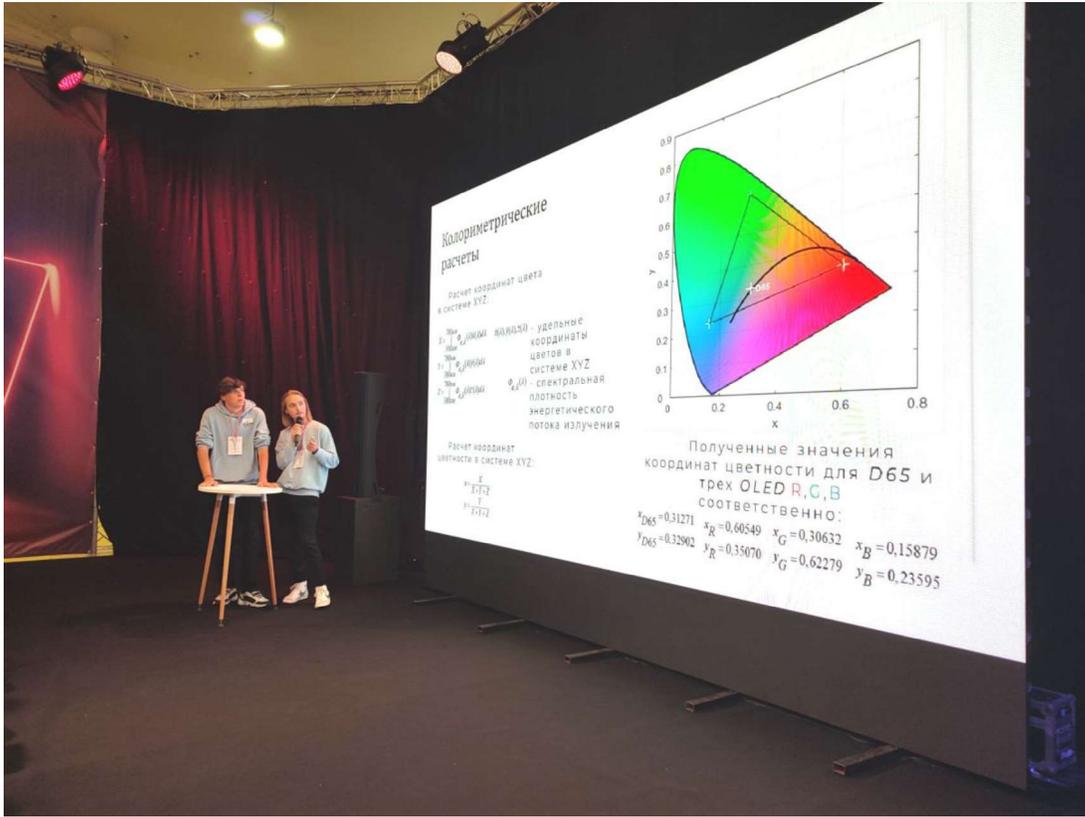
Главным уровнем участия стран в деятельности МКО являются национальные комитеты МКО, которые совместно принимают решения по всем вопросам, касающимся организации работы МКО. В настоящее время в МКО входит 35 стран, имеющих национальные комитеты, а также 2 страны в качестве ассоциированных членов. Россия (как приемник СССР) является членом МКО с 1935 г. Участие в МКО позволяет получать наиболее актуальную информацию о перспективных направлениях научно-технического развития и новейших разработках в области светотехники.

РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ МКО

Российский национальный комитет Международной комиссии по освещению (РНК МКО) – научно-техническая светотехническая организация, обеспечивающая участие светотехников России в работе МКО и осуществляющая взаимодействие с МКО и другими международными организациями, занимающимися вопросами, связанными с наукой, технологией, стандартизацией и искусством в области света и освещения.

Присоединиться к глобальному научному сообществу светотехников можно, став членом РНК МКО. Информация об условиях вступления и категориях членства размещена на сайте РНК МКО <https://cie-russia.ru>.

РНК МКО является организатором международных и национальных научных мероприятий в области светотехники, в том числе Международной научно-практической конференции «Свет в музее», Всероссийской научно-технической конференции «Инновационная светотехника России».



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий сборник подготовлен на основе докладов, представленных студентами, аспирантами, докторантами российских высших учебных заведений, имеющих учебные и научные направления, связанные со световыми технологиями.

В сборнике представлены двадцать восемь докладов из шести российских университетов:

- Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт», (НИУ «МЭИ»);
- Смоленский филиал НИУ «МЭИ»;
- Национальный исследовательский Томский политехнический университет, (НИТПУ);
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»);
- ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», (НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана»);
- ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», (РТУ МИРЭА).

Представленные доклады, в определённой степени, должны отражать преобладающие направления развития университетской светотехнической науки в России.

Как следует из обзора материалов сборника, эти направления связаны, в первую очередь, со зрительным восприятием цвета, его моделированием, возможностями исследования и оценки физиологии зрения. Вопросам зрительного восприятия цвета посвящено порядка одиннадцати публикаций, в основной массе из НИУ «МЭИ». Работы выполнены на специально разработанных и реализованных установках с привлечением и подготовкой студентов в качестве участников экспериментов и применением классических и оригинальных методик исследований.

Среди докладов, посвящённых этой теме, особое внимание сконцентрировал на себе доклад НИУ «МЭИ», посвящённый исследованиям особенностей цветового восприятия людьми разного пола. Данная работа и её авторы заняли второе призовое место по решению организационного комитета конференции.

Вопросы исследования характеристик источников света и световых приборов отражены в пяти представленных работах.

Можно выделить направления совершенствования и исследований источников УФ излучения (НИУ «МЭИ») и исследования и проектирования световых приборов, в том числе и со светодиодами (МГУ им. Н.П. Огарёва). Оригинальное предложение источника излучения для формирования объёмного изображения, или для источника света в установки, реализующие спектральную временную пространственную развертку полихроматического кадра, представлено МГТУ им. Н.Э. Баумана на основе матрицы из управляемых лазерных диодов.

Целый ряд статей посвящён вопросам моделирования в процессе проектирования систем освещения объектов различного назначения, от зоны отдыха студенческого общежития до архитектурно-художественного освещения объектов деревянного зодчества в городе Томске.

Если раньше мы говорили о проектировании систем внутреннего или наружного освещения, то сегодня на кончике пера – всеобъемлющий световой дизайн. Дизайн, который включает все этапы разработки от художественно-эстетической концепции с её предварительной визуализацией до проектирования с расчётами параметров светотехнической установки с учётом характеристик световых приборов, эргономики, энергетической эффективности и эстетики, создания 3D моделей с использованием программного продукта, оценки (измерений) результатов реализации проекта. В рубрике докладов по световому дизайну наибольшее внимание привлёк к себе доклад Томского политехнического института, посвящённый проекту архитектурного освещения деревянного зодчества Томска с использованием при проектировании метода лазерного сканирования. Этот доклад и его автор отмечены третьим призовым местом по решению организационного комитета конференции.

Особое место в работах, связанных с моделированием, занял оригинально представленный двумя студентами НИУ «МЭИ» доклад, посвящённый разработке *MATLAB* программы, которая позволяет моделировать спектры излучения многослойных *OLED* структур с тремя излучающими слоями на основе спектров структур с одним излучающим слоем. При этом разработка носит реальный прикладной характер, т.к. есть реальная возможность её использования в технологиях АО «ЦНИИ «Циклон».

Единогласным решением организационного комитета конференции докладу и его авторам присвоено первое призовое место.

Особое место на конференции занял доклад Смоленского филиала НИУ «МЭИ», посвящённый разработке не стандартизованного средства измерения – цифровому колориметру для исследования объектов сложной формы и неравномерного цвета. Оригинальная зрелая работа, которая требует продолжения, и которой предшествовали исследования

в выборе цветового пространства представления цифровой системы, исследования фильтров для каналов основных цветов, разработка программного продукта расчётов по изображениям, полученным в трёх каналах, создание системы освещения объектов исследования, например, драгоценных камней. Эта работа и её автор заняли особое первое место по единогласному решению организационного комитета конференции.

В заключение хотелось бы отметить, что, к сожалению, формат конференции не позволил заслушать все доклады. На очном заседании из-за лимита времени прозвучали только восемь докладов, получивших наивысшие оценки рецензентов. Не все направления такой многопрофильной науки как светотехника были представлены на конференции. Так, например, не были представлены доклады ни в области теоретической (задачи теории светового поля), ни в области прикладной фотометрии (световые измерения, метрология оптического излучения). Требования к световым измерениям претерпевают сегодня поистине революционные изменения. Причина этому – повсеместный переход к источникам света и световым приборам со светодиодами.

Хотелось бы пожелать сегодняшним бакалаврам и магистрам, аспирантам и докторантам, а также их руководителям обратить внимание на многогранность специальности светотехника и на то, что ни одна из граней этой науки невозможна без измерений оптического и актиничных излучений.

***Р.И. Столяревская,
член Программного комитета
конференции, доктор технических
наук, заместитель главного
редактора журнала
«Светотехника», глава Отделения 2
Российского национального
комитета МКО***

ДОКЛАДЫ УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ



ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННЫХ УФ ЛАМП С ЗАМКНУТЫМИ РАЗРЯДНЫМИ ТРУБКАМИ

*Ахмадов М.А., студент; Иликеева Р.А., аспирант;
Попов О.А., профессор, д.т.н., НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Проведено экспериментальное исследование характеристик бесферритных индукционных амальгамных разрядов в лампах, образованных замкнутой кварцевой трубкой с длиной осевой линии 815 мм и внутренним диаметром 16,6 мм. Разряд поддерживался на частоте 13,56 МГц и мощностях лампы 50–360 Вт в парах ртути (7×10^{-3} торр) со смесью неона с аргоном в пропорции 30/70 и давлением 0,3, 0,5, 0,7 и 2,0 торр. Изготовленная из медной шины (7,5×2,0 мм) одновитковая катушка индуктивности размещалась по внутреннему периметру разрядной трубки. Максимальный КПД генерации УФ излучения (254 нм) лампы, 48–49 %, достигался при давлении смеси 0,7 торр и мощностях лампы 80–130 Вт.

Ключевые слова: индукционный разряд, ртутная плазма, буферный газ, катушка индуктивности, УФ резонансное излучение.

Введение

Плазма безэлектродных индукционных разрядов в смесях паров ртути низкого давления и инертных газов является эффективным источником ультрафиолетового (УФ) резонансного излучения на длинах волн 185 и 254 нм и используется в бактерицидных лампах для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей. Благодаря отсутствию внутренних электродов ртутные индукционные лампы имеют высокий срок службы (>40 тыс. ч) и могут работать на низких давлениях инертного газа 0,1–1,0 торр, на которых максимален КПД генерации УФ резонансного излучения. Особый интерес представляют бесферритные индукционные источники УФ излучения, в которых ртутная плазма возбуждается в замкнутых кварцевых разрядных трубках с помощью катушки индуктивности, размещенной по периметру (внешнему или «внутреннему») трубки [1]. В недавней работе [2] было проведено экспериментальное исследование таких ламп, образованных замкнутой кварцевой трубкой (длина 815 мм, внутренний диаметр 16,6 мм). Разряд поддерживался на частоте 13,56 МГц и мощностях 50–300 Вт в смеси паров ртути с аргоном с помощью изготовленной из литцендрата катушки индуктивности, размещённой по внутреннему периметру разрядной трубки. Потери мощности в проводе оказались велики, достигая 50 Вт на мощностях лампы 250–300 Вт. КПД генерации УФ излучения лампы не превышало 33 %, что весьма близко к КПД электродных трубчатых ртутных УФ ламп низкого давления [3].

Экспериментальная установка и методы измерений

Объектом исследования были безэлектродные индукционные бесферритные ртутные лампы низкого давления с замкнутыми трубками. Длина лампы – 375 мм, ширина – 120 мм; длина осевой линии трубки – 815 мм, внутренний диаметр трубки – 16,6 мм. ВЧ индуктор представлял собой одновитковую катушку индуктивности, изготовленную из медной шины шириной 7,5 мм и толщиной 2 мм и с погонным сопротивлением 7×10^{-4} Ом/см. Давление паров ртути в разрядной трубке поддерживалось температурой амальгамы (62 – 110°C), размещённой на внутренней поверхности стенки разрядной трубки. В качестве буферного газа использовалась смесь неона с аргоном в пропорции 30/70 и давлениях 0,3, 0,5, 0,7 и 2 торр. ВЧ напряжение частотой 13,56 МГц подавалось на катушку индуктивности от генератора ВЧ мощности через согласующее устройство. Измерения проводились в диапазоне мощностей лампы от 40 до 450 Вт; ВЧ напряжение U_c и ток катушки I_c , измерялись с помощью высоковольтного щупа, трансформатора тока и цифрового осциллографа *Tektronix TDS 640A*. Мощность потерь в проводе ВЧ индуктора, определялась методом замещения в отсутствие разряда [1]. Энергетический поток УФ излучения лампы на длине волны 254 нм измерялся при помощи фотодатчика *IS-4*, размещённого вплотную к поверхности разрядной трубки. Для получения полного потока УФ излучения лампы датчик был откалиброван с использованием эталонной лампы с разрядной трубкой такого же диаметра, как у исследуемых ламп (16,6 мм), но с известным потоком УФ излучения, определяемым методом Кейтца [1].

Результаты работы и их обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости мощности потерь в проводе катушки от мощности лампы, полученные для разных давлений буферного газа. Видно, что, начиная от 100–150 Вт, потери в проводе индуктора возрастают, причем наибольшие потери показывают лампы с давлением 0,5 и 0,7 торр, наименьшие – лампы с давлением 0,3 и 2,0 торр, а зависимость P_c от давления буферной смеси имеет максимум в области 0,5–0,7 торр. Заметим, что мощности потерь в ВЧ индукторе исследуемых ламп ниже, чем в лампах с ВЧ индуктором, изготовленном из литцендрата [2].

На рис. 2 приведены зависимости энергетического потока УФ излучения, Φ , от мощности лампы, измеренные при различных давлениях инертного газа. Видно, что Φ монотонно увеличивается с ростом мощности лампы, а его зависимость от давления буферного газа на всех уровнях мощности имеет максимум при 0,7 торр. Отметим, что максимальный поток УФ излучения, полученный в данной работе, $\Phi = 115$ Вт, $P = 330$ Вт) заметно превышает таковой ($\Phi = 75$ Вт) индукционной лампы, работающей на частоте 13,56 МГц, но наполненной аргоном и использующей ВЧ индуктор, изготовленный из литцендрата [2].

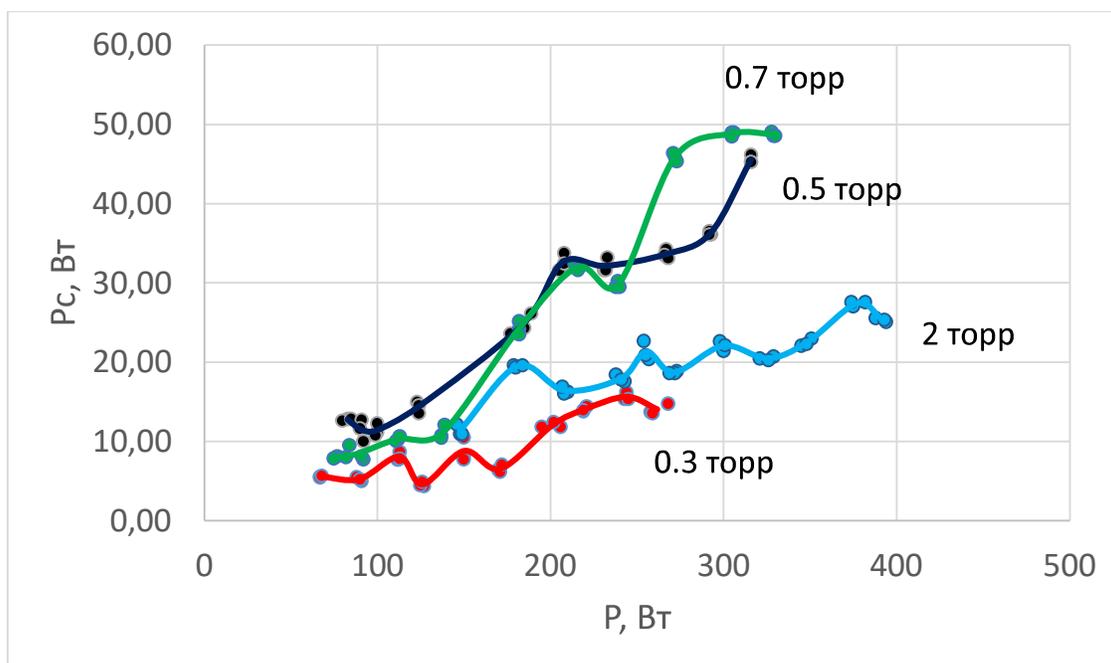


Рис. 1. Зависимость мощности потерь в проводе катушки от мощности лампы

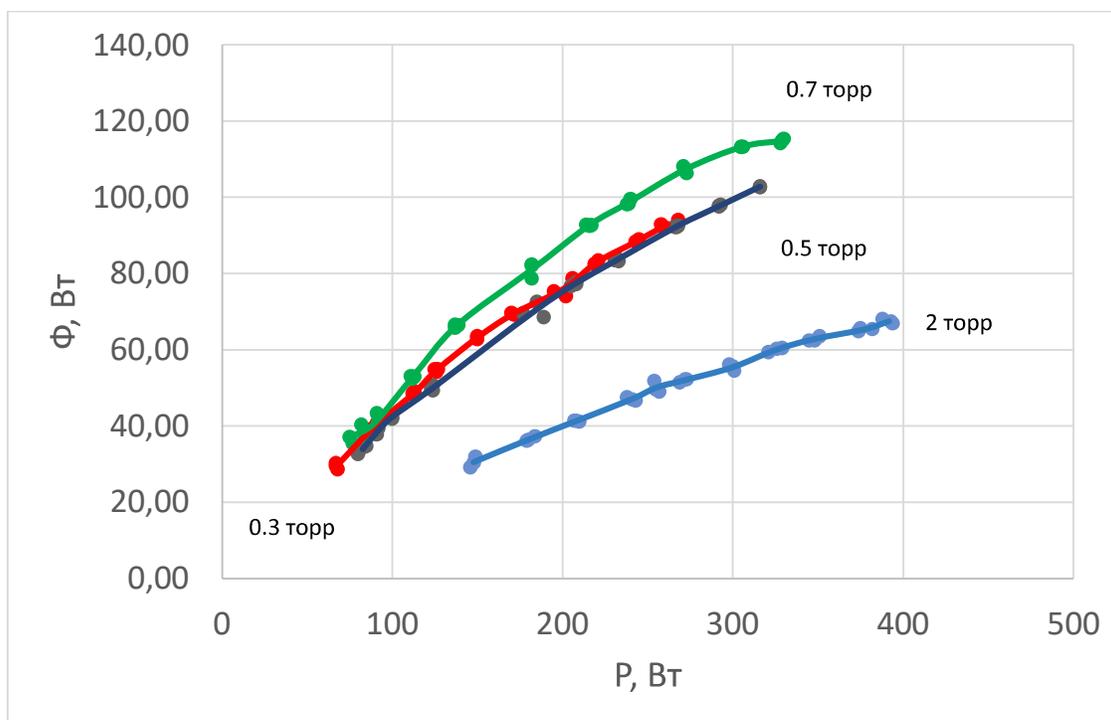


Рис. 2. Зависимость энергетического потока УФ излучения от мощности лампы

На рис. 3 приведены зависимости КПД генерации УФ (254 нм) излучения, $\eta = \Phi/P$, от мощности лампы. Видно, что на малых мощностях КПД возрастает, достигая максимума (43–49 %) при 75–150 Вт, положение которого с повышением давления буферного газа сдвигается в сторону больших мощностей. Отметим, что КПД генерации УФ излучения выше, чем в индукционных лампах, работавшей на такой

же частоте 13,56 МГц, но с аргоном и с ВЧ индуктором, изготовленным из литцендрата [2].

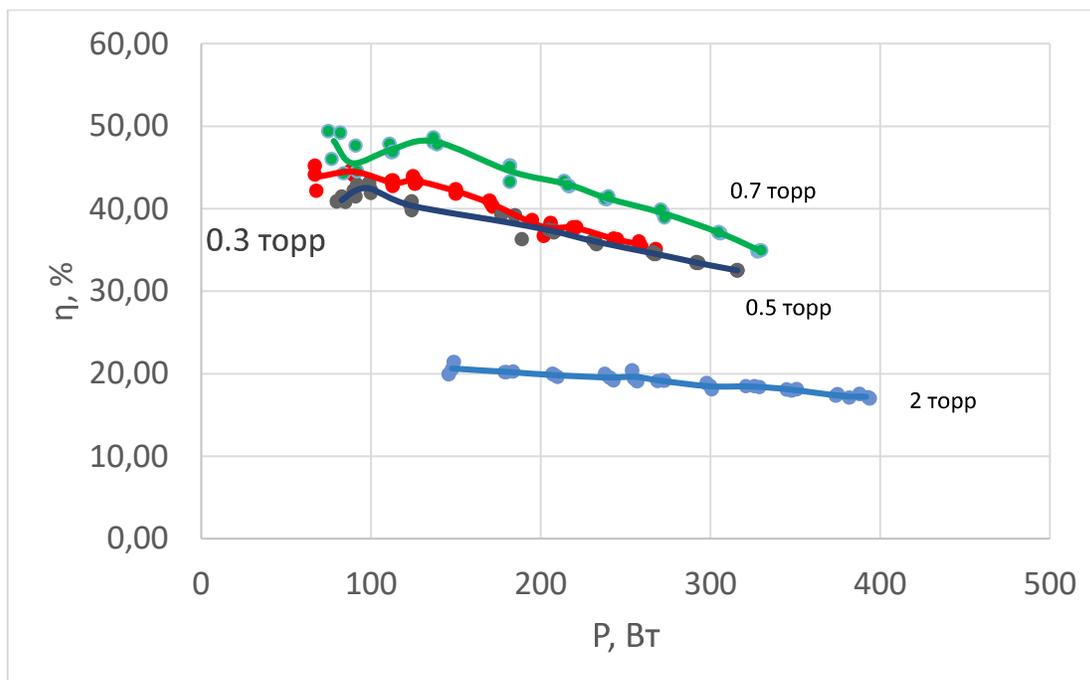


Рис. 3. Зависимость КПД генерации УФ излучения от мощности лампы

Выводы:

- Добавка неона к аргону повышает КПД генерации УФ излучения плазмы до 50%, что предположительно связано с более высокой напряженностью электрического поля в плазме [1];
- Использование медной шины снижает мощность потерь в ВЧ индукторе и, соответственно, повышает КПД генерации УФ излучения;
- Для снижения мощности потерь в ВЧ индукторе рекомендуется снизить рабочую частоту лампы до 3–4 МГц.

Список литературы

1. Попов О.А., Старшинов П.В., Иликеева Р.А., Буреева Д.А., Ирхин И.В., Левченко В.А. Характеристики индуктора и плазмы бесферритных индукционных амальгамных ультрафиолетовых ламп с замкнутыми трубками малого диаметра // Вестник МЭИ. – 2020. – № 5. – С. 98–111.
2. Иликеева Р.А., Шилова С.А., Попов О.А., Левченко В.А. Индукционная бесферритная ртутная УФ лампа НД с замкнутой разрядной трубкой, работающая на частоте 13,56 МГц // Светотехника. – 2022. – № 1. – С. 58 – 62.
3. Аллаш М.Е., Василяк Л.М., Елисеев Н.П., Попов О.А., Соколов Д.В. Тестирование и анализ характеристик ртутных и амальгамных бактерицидных ультрафиолетовых ламп низкого давления разных производителей // Светотехника. – 2019. – № 3. – С. 24–32.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ЦВЕТА МЕБЕЛИ И СТЕН

*Будченков Д.И., студент; Лебедева С.М., к.т.н., профессор;
Фомин А.Г., к.т.н., доцент, НИУ МЭИ, г. Москва.*

Аннотация

В данной работе проводились исследования по определению наиболее предпочтительных сочетаний цвета мебели и стен. Для различных отделок мебели определялись наиболее гармоничные цвета, после чего, изменяя насыщенность цвета и коррелированную цветовую температуру освещения, определялась наилучшая насыщенность цвета и цветовая температура. В результате исследования были получены наиболее гармоничные сочетания отделок мебели и цветов стен с наиболее подходящей цветовой температурой.

Ключевые слова: цветовая гармония, отделка стен, отделка мебели, цветовая температура

Введение

На сегодняшний день, несмотря на кажущееся разнообразие товаров, всё-таки существуют некоторые стандарты, шаблоны, лекала. Большинство товаров широкого потребления производится большими партиями. Получается так, что, несмотря на большое разнообразие форм и размеров корпусной мебели (шкафы, полки, комоды) вся она производится в большинстве случаев из ЛДСП с определённой ламинацией, схожей по цвету и текстуре. Очень часто люди теряются в многообразии выбора, поэтому стоит помочь им, разработав определённые рекомендации, шаблоны, алгоритмы. Для этого стоит найти что-то общее, что уже есть у большой группы людей или доступно для приобретения. Целью данной работы стало выявление наиболее гармоничных сочетаний цвета стен и цвета отделки мебели.

Методы исследования

Для проведения данного исследования создавался набор макетов интерьера с различной отделкой мебели и различным цветом стен. Далее использовался метод субъективной оценки. Реакции (суждения, мнения, впечатления) человека на параметры материальной предметной среды, которые на современном уровне развития науки и технологий не могут быть выражены в числовом эквиваленте, но вместе с тем играют важную роль во взаимосвязях человека с материальной средой. Метод субъективных оценок представляет собой познавательный процесс, заключающийся в количественном изучении реакций человека на параметры предметов его жизненной среды и используемый в тех случаях, когда эти реакции не могут быть выявлены и определены объективно.

Всё исследование было разделено на два этапа. Первым этапом стал интернет-опрос, для которого был создан набор из 40 виртуальных макетов, пять различных отделок мебели и восемь различных цветов стен для каждой отделки. В опросе приняли участие 28 человек. В разделе присутствовало восемь различных фонов каждого вида отделки мебели. Для оценки образцов была предложена трёхбалльная система: 0 – «Не нравится», 1 – «Удовлетворительно», 2 – «Нравится». Разделы были составлены таким образом, что наблюдатель видел сразу 8 виртуальных макетов интерьера с одинаковой отделкой мебели и восемью различными цветами фона. Результатом первого этапа стали наборы по два цвета фона для каждой отделки мебели. Данные результаты стали основой второго этапа исследования.

Для проведения второго этапа создавался натуральный макет. Пять различных отделок мебели, по два цвета фона для каждой. Каждый цвет имел четыре ступени насыщенности (0,5 %, 1 %, 5 % и 10 %), таким образом, подбиралась наиболее подходящая насыщенность цвета для каждой отделки мебели. Для того, чтобы наблюдатель не привыкал к представляемым цветным фонам, было решено показывать по очереди фоны одной насыщенности из разных цветовых групп. При этом чтобы дополнительно исследовать влияние КЦТ на сочетаемость цветов макет поочередно освещается светом с КЦТ 2700 К, 4000 К и 6500 К.

Всего в исследовании приняли участие 10 человек разных возрастных категорий от 16 до 50 лет, средний возраст составляет 24,1 лет. Каждому наблюдателю объяснялась цель проводимого эксперимента, отдельно разъяснялась система оценок.

После предварительной работы с наблюдателями следовала основная часть эксперимента. Поочередно предъявлялись пять макетов мебели на разных фонах. Каждая комбинация мебели и фона поочередно освещалась излучением с тремя различными коррелированными цветовыми температурами. Таким образом, для каждого вида отделки мебели от одного наблюдателя мы получали 24 оценки. Всего – 120 оценок.

Результаты

При изучении зависимостей, первым делом в глаза бросается низкая предпочтительность тёплого освещения 2700 К. Ни в одной серии объект, освещаемый теплым светом не получил высший балл. Предпочтение отдаётся нейтральному и холодному освещению. Наиболее предпочтительной стала коррелированная цветовая температура 4000 К, она получила наивысшую оценку в 26 случаях из 40 серий (65 %). Второй по предпочтительности стала коррелированная цветовая температура 6500 К, ей отдали предпочтение в 10 случаях из 40 (25 %).

На основании обработки всех полученных данных были отобраны следующие комбинации отделки мебели и цвета фона:

Таблица 1. Результаты второго этапа исследования. Наиболее гармоничные сочетания.

Отделка мебели	Цвет фона	КЦТ, К	Оценка
Берёза	Синий 2	6500	4,1
Венге	Сиреневый 2	6500	3,8
	Сиреневый 3	4000	3,8
Вишня	Бежевый 1	4000	3,9
Орех	Персик 1	4000	4,1
Ясень	Бежевый 2	4000	4,1

Обсуждение

На первом этапе наименее привлекательными стали розовый, жёлтый, красный и зелёный цвета. Данная закономерность весьма предсказуема, розовый цвет весьма специфический для отделки интерьеров, так же, как и жёлтый, чаще используемый для экстерьеров, например, окраски фасадов зданий. Красный цвет крайне экстравагантный и тоже редко встречается в интерьерах, поскольку является излишне возбуждающим. Зелёный, несмотря на свои успокаивающие свойства, тоже оказался наименее сочетаемым со всеми предложенными видами отделки, подобные результаты были получены и в другом исследовании [5].

Тенденция по предпочтению более холодного освещения так же была отмечена в исследовании [3], авторы отмечают, что образцы, освещаемые нейтрально-белым (4100 К) и холодно-белым (5000 и 5600 К) светом, получили более высокие субъективные оценки цветового предпочтения, чем тепло-белый свет (3100 К). В том же исследовании [3] отмечается тенденция, прослеживающаяся в данной работе: значение цветового предпочтения достигало максимума при умеренной насыщенности цвета объекта. Так и в нашем исследовании, наиболее гармоничные сочетания мебели и фона оказались с цветами фона, со средней или минимальной насыщенностью.

Выводы

Основная ценность данного исследования эмпирическая. Были проведены исследования, направленные на определение наиболее гармоничных сочетаний отделки мебели и цвета стен. Для каждой отделки был получен один или два наиболее гармоничных цвета с определенной насыщенностью и КЦТ. В заключение хочется отметить некоторые факты, полученные в ходе исследования:

1. Нейтральное и холодное освещение оказались более предпочтительны, чем тёплое освещение.
2. Наиболее гармоничные сочетания мебели и фона оказались с цветами фона, со средней или минимальной насыщенностью.
3. Наиболее предпочтительной оказалась отделка «Берёза», поскольку в среднем, наиболее высокие оценки получали сочетания различных фонов и данной отделки.
4. Наиболее гармоничными стали сочетания «Берёза–Синий 2», «Орех–Персик 1» и «Ясень–Бежевый 2», так как они получили наивысшие оценки.

Список литературы

1. В. Ю. Снетков. Модели и принципы цветовой гармонии. / В. Ю. Снетков, Л. Н. Шугарова // Вестник МЭИ. 2010, №3.
2. А. Б. Матвеев. О некоторых закономерностях гармоничных цветовых сочетаний. / А. Б. Матвеев, В. М. Петров // Светотехника. 1968, №3.
3. Винь К.Т. Зависимость цветового предпочтения от коррелированной цветовой температуры, освещённости и насыщенности цвета объекта – новая метрика. / К.Т. Винь, П. Бодроги, Т.К. Кхан, Т.Т. Ань // Светотехника. – 2019. – №5. – С. 64–75.
4. Рекомендации по проектированию цветовой отделки интерьеров общественных зданий. – Москва: Стройиздат, 1984.
5. Dongyoup Kim, Hyowon Hyun, Jungkun Park. The effect of interior color on customers' aesthetic perception, emotion, and behavior in the luxury service // Journal of Retailing and Consumer Services. – 2020. – Vol. 57. – 102252, ISSN 0969-6989
6. Субъективная оценка цветопередачи. / Н. С. Иванова, И. В. Мигалина, С. Г. Юров // – Москва: ВНИИТЭ, 1973.
7. <https://yandex.ru/images/search?text=мебель%20в%20интерьере>
8. <https://leroymerlin.ru>
9. А. Б. Матвеев. Способы моделирования осветительных установок. // Светотехника. – 1971. – №10.
10. ГОСТ 26320-84. Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений. – Москва: Издательство стандартов, 1984.

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

*В.А. Ведяшкин, магистрант; А. П. Горошков, магистрант;
В.А. Машин, магистрант; И.И. Байнева, доцент, к.т.н.,
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск*

Аннотация

В данной статье рассматриваются особенности светотехнических изделий, разрабатываемых в условиях индустрии 4.0, их технические характеристики, конструктивные особенности, технологии моделирования и производства.

Ключевые слова: индустрия 4.0, прототипирование, светильник, 3D принтер, 3D моделирование, светодиод, трассировка, оптическая система.

Индустрия 4.0

В отличие от уже свершившихся первой, второй и третьей промышленных революций, суть четвёртой не только в появлении новых технологий, но и в интеграции уже существующих в одну систему. Так, в облачных вычислениях, в *IoT*, в *VR*, в сфере информационной безопасности появились новые технологии, которые как раз и позволили наработки за 20–30 лет принести в реальное производство, сделать их доступными для широкого использования [1].

Индустрия 4.0 предполагает новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта.

Преимущества четвёртой промышленной революции:

- повышение производительности;
- большая безопасность работников за счет сокращения рабочих мест в опасных условиях труда;
- повышение конкурентоспособности;
- принципиально новые продукты.

Методы прототипирования и 3D моделирования

Одно из самых прогрессивно развивающихся направлений четвертой промышленной революции – это прототипирование при помощи 3D принтеров. 3D печать помогает за краткие сроки получить множество образцов продукции, не прибегая к услугам аутсорсинговых компаний. Самое весомое преимущество такого производства – это снижение затрат на рабочую силу, зачастую на материалы и сокращение времени изготовления прототипов. На данный момент на 3D принтерах печатаются прототипы абсолютно всех изделий, от небольших светильников до крупных глобальных объектов. Каждый прототип согласуется комиссией, фиксируются изменения и корректировки,

которые необходимо внести. По каждому продукту приходится создавать несколько прототипов с учётом вносимых изменений, шаг за шагом до достижения идеального результата. Оценивается не только внешний вид напечатанных корпусов светильников, но также расположение электроники внутри [2].

Также не стоит забывать и про 3D моделирование, которое активно развивается в наше время. На сегодняшний день существует большое количество программного обеспечения, которое способствует развитию данного направления [3]. 3D моделирование – это процесс визуализации объекта в трёхмерном пространстве с помощью специальных программ. Возможности современной компьютерной графики позволяют демонстрировать внешний и внутренний вид объекта с максимальной реалистичностью.

В современном производстве световых приборов активно применяется проектирование 3D-моделей. Оно включает в себя создание корпусов и деталей приборов в виде 3D-моделей и используется в процессах:

- вариативной компоновки частей и деталей механизмов;
- визуализации предполагаемых пропорций;
- анимационного представления сборочных или технологических операций;
- создания чертежей для 3D-печати;
- воссоздания сломанных деталей.

Применение трёхмерного моделирования способствует скорейшей реализации инновационных разработок и технологий в производственном процессе. Для 3D моделирования используется такое программное обеспечение, как *AutoCAD*, *КОМПАС-3D*, *SOLIDWORKS* (рис. 1), *3Ds MAX* и т.д. Также одним из таких программных обеспечений является *TracePro*.

Программное обеспечение и его возможности

Инженерный модуль *SOLIDWORKS Simulation* позволяет проводить термический анализ, анализировать распространение температуры по деталям, исследовать изменение температуры с течением времени.

Система *TracePro* может быть использована для моделирования практически всех типов оптических систем (рис. 2). *TracePro* за счет сокращения объёмов прототипирования, характерного для традиционного подхода, позволяет сократить время проектирования на (30–50) %, а также уменьшить стоимость самих изделий. Применялся для моделирования фар, габаритных фонарей, усовершенствованных стоп-сигналов, освещения салона, световодов, панелей приборов, индикаторов, размещаемых на ветровом стекле. Программа основана на твердотельном ядре *ACIS*, а, следовательно, совместима с соответствующими программными продуктами, в частности с *AutoCAD*,

CADKEY. С учетом того, что современные программы разработчики моделей, например, *SolidWorks* и *CATIA V5*, имеют функции экспорта/импорта без потерь в формате *ACIS*, данные программы могут служить источником (и приемником) данных для *TracePro*. Программа реализована на *C++*, имеет полноценный графический интерфейс. Встроенный макроязык *Scheme* позволяет осуществлять итерационный проектировочный расчет.

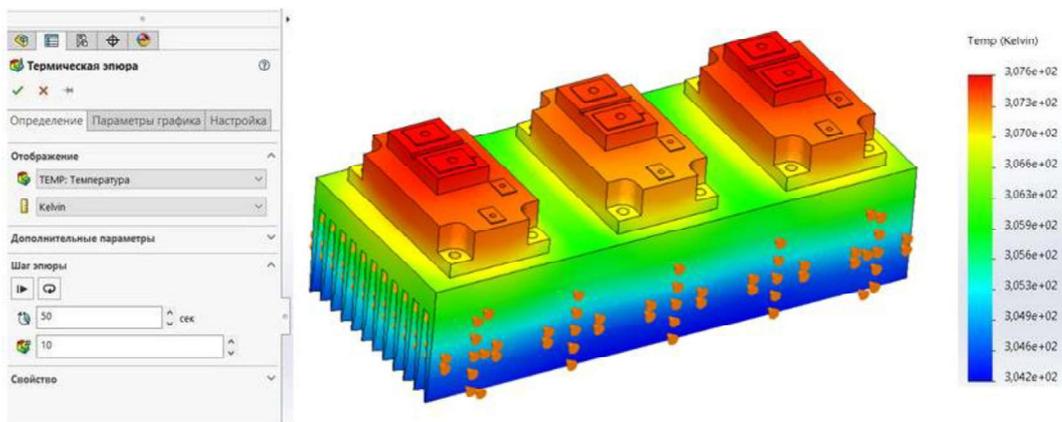


Рис.1. Термический анализ 3D модели в *SOLIDWORKS*

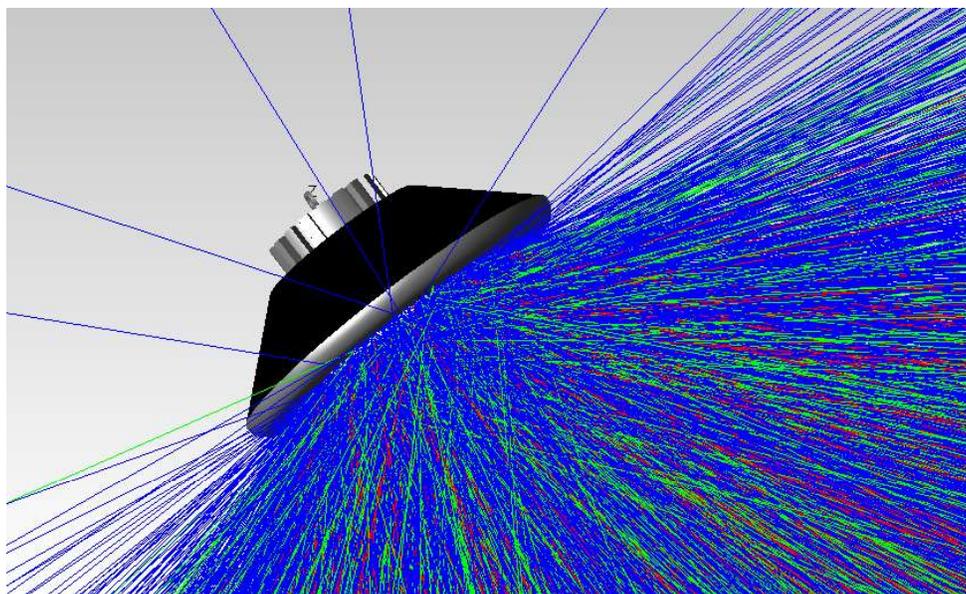


Рис. 2. Трассировка светового прибора в программе *TracePro*

Работа с *TracePro* состоит из четырёх этапов.

Первый этап – синтез геометрической модели оптической системы собственными средствами программы или импорт файлов в форматах *SAT*, *IGES* или *STEP*.

Второй этап включает определение источников света на сетке лучей или придание поверхностям свойств источников. Доступен также импорт «калиброванных» источников из программы *Radiant Imaging*.

Третий этап – это придание оптических свойств материалов телам и поверхностям. Можно выбирать материалы и свойства из ранее помещённых в базу данных или создавать новые.

И последний, четвёртый шаг – задание характеристик источников и сред, включая длины волн, пороговые значения, характеристики пропускания, который завершается запуском программы трассировки лучей.

Средства визуализации *TracePro* позволяют получить каркасный, силуэтный и закрашенный виды модели. Траектории лучей могут отображаться на фоне модели, чтобы сделать очевидными эффекты рассеяния, поглощения, отражения, преломления, поляризации. Эти результаты информируют пользователя о параметрах распространения потока энергии между поверхностями в зависимости от свойств объектов.

Моделирование источников света в *TracePro* осуществляется весьма эффективно, в частности, для моделей высокой сложности, например, дуговых ламп или их групп, люминесцентных ламп, светодиодов, ламп накаливания, лазерных диодов (рис. 3). Источники могут задаваться общим потоком излучения, плотностью потока энергии или быть абсолютно черным телом. Параметры излучения и результаты можно определять, как в фотометрических, так и в радиометрических единицах [4].

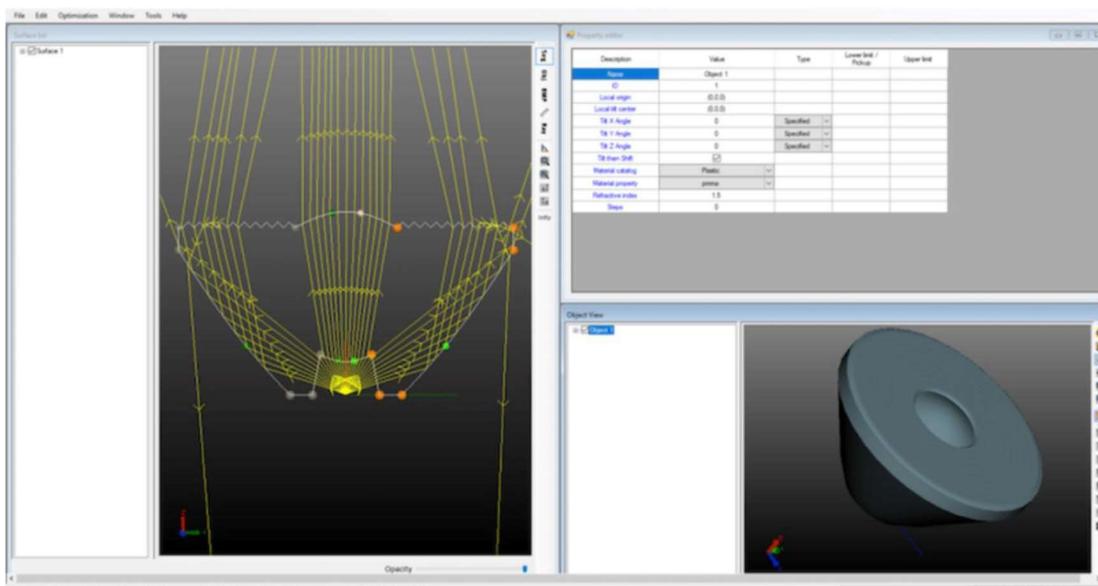


Рис. 3. Моделирование источников света в *TracePro*

Выводы

Реализация концепции Индустрия 4.0 даёт возможность использования методов и программного обеспечения современного моделирования, так как именно они является эффективным средством исследования новых процессов и испытания новых изделий, устройств и технологий. Вследствие сложности и взаимосвязанности научных и производственных задач, возникающих при проектировании светотехнических изделий, возникает необходимость применять самые различные виды компьютерного моделирования: имитационное, машинное, компьютерная имитация и симуляция.

Список литературы

1. Индустрия 4.0 [Электронный ресурс]: ХАБР [сайт публикации статей] – [Мск., 2020] – Режим доступа: <https://habr.com>. (Дата обращения: 08.06.2022).

2. Протипирование с помощью 3Д принтера [Электронный ресурс]: ХАБР [сайт публикации статей] – [Мск., 2020] – Режим доступа: <https://habr.com>. (Дата обращения: 08.06.2022).

3. *Байнев В.В., Байнева И.И.* 3D-моделирование и прототипирование в светотехническом производстве. Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 2. С. 51-55.

4. TracePro [Электронный ресурс]: САПР.РУ [сайт систем автоматизированного проектирования] – [Мск., 2010] – Режим доступа: <https://sapr.ru>. (Дата обращения: 08.06.2022).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ *COB*-МАТРИЦ

*В.А. Ведяшкин, магистрант; И.И. Байнева, доцент, к.т.н.
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск*

Аннотация

В данной статье рассматриваются особенности экспериментального исследования характеристик светодиодных *COB*-матриц.

Ключевые слова: светодиодная матрица, прототипирование, светильник, источник света, 3D моделирование, светодиод, трассировка, оптическая система, люминофор.

Введение

Светодиодное освещение можно отнести к инновационным технологиям современной светотехники, которые всегда нацелены на повышение качества выпускаемой продукции и совершенствование самой производственной сферы [1]. В современных системах освещения всё большее распространение получают светильники, сделанные на основе мощных светодиодов и светодиодных модулей. Светодиодные модули являются промежуточным звеном между отдельными светодиодами и светодиодными светильниками со встроенным драйвером [2].

Относительно новые матрицы – это матрицы, изготовленные по технологии *COB* (*Chip-on-Board*). В такой матрице множество маломощных чипов посажены непосредственно на подложку, что уменьшает тепловое сопротивление между чипом и подложкой матрицы. В результате появилась возможность уменьшить размеры корпуса мощной матрицы, использовать в качестве основания алюминий или керамику, повысить в целом эффективность матрицы и, самое главное, существенно снизить цену самой светодиодной матрицы. При использовании *COB* значительно упрощается оптическая система осветительного прибора. Для мощных светодиодов обычно используются индивидуальные линзы или рефлекторы. Для матрицы *COB* используется только одна линза или отражатель, что, помимо всего прочего, снижает стоимость осветительного прибора [3]. Поэтому возникла необходимость в создании недорогих светодиодных матриц, производимых в полностью автоматическом режиме. При выходе из строя такой матрицы её просто заменяют на другую [4].

Методы исследования

Правильно организованное охлаждение светодиодной матрицы обеспечит ей работу без спада светового потока и деградации кристаллов в течение времени, заявленного производителем этих самых матриц. И наоборот, перегрев матрицы чреват выгоранием люминофора (заметно

по изменению цвета свечения, цвет уходит в синеву, вокруг кристаллов появляется чёрная каёмка), деградацией кристаллов, и, как следствие, снижением светового потока, или, попросту, обрывом проводников, которыми распаяны кристаллы в светодиодной матрице между собой.

Несмотря на высокий КПД светодиодов, тем не менее около 60 % подводимой к *СОВ*-матрице энергии уходит на нагрев. Это подразумевает значительное тепловыделение. Но кристаллы в *СОВ*-матрице непосредственно прикреплены к теплоотводящей подложке клеем с хорошей теплопроводностью.

Одной из главных тенденций последних лет в разработке и применении светодиодных источников для общего освещения является постоянное увеличение рабочих токов и плотности монтажа излучающих кристаллов в матрицах для обеспечения всё более высоких значений выходной мощности. Повышение мощности и усложнение конструкции СД источников света требует особого внимания к тепловым процессам как внутри отдельных СД, так и матрицы в целом. При этом не следует ограничиваться только оценкой общего теплового сопротивления, необходимо детально анализировать распределение температурных полей по площади.

Температура в значительной степени определяет общие выходные характеристики СД матриц (световой поток и КПД). Исследование неоднородности температурного распределения по площади матрицы как функции тока, представляется особенно важным применительно к современным СД матрицам большой мощности. Цель данной работы – анализ теплового сопротивления и распределения температуры в высокоомощных светодиодных матрицах.

Результаты

Экспериментально исследовались тепловые процессы СД матриц. Прямой метод оценки температуры СД кристаллов основан на использовании инфракрасного термографирования с применением ИК-тепловизора, который позволяет быстро и точно сканировать температуру на поверхности матрицы и визуализировать результаты измерений. Светодиодная матрица содержала 8 параллельно соединённых светодиодных линеек, каждая из которых включала 8 кристаллов, соединённых последовательно (рис. 1).

Общая площадь светодиодной матрицы составила 38×38 мм. Кристаллы были защищены силиконовым гелем с люминофором. Алюминиевая плата со СД матрицей была привинчена к радиатору. Диагональное расстояние между головками винтов крепления платы к радиатору составило 58 мм.

В современных высокоэффективных светодиодах значительная доля подводимой электрической мощности преобразуется в световое излучение и, следовательно, не участвует в нагреве устройства. Зависимость рассеиваемой мощности от температуры на СД кристалле и температурный профиль матрицы представлены на рис. 2–3.

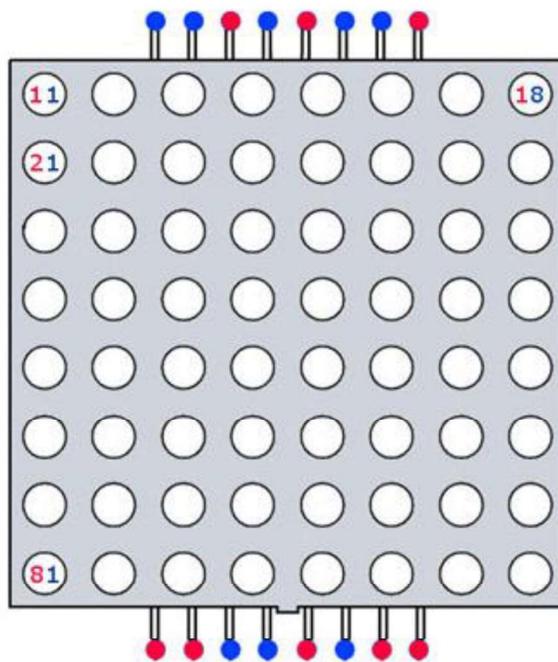


Рис. 1. СД матрица

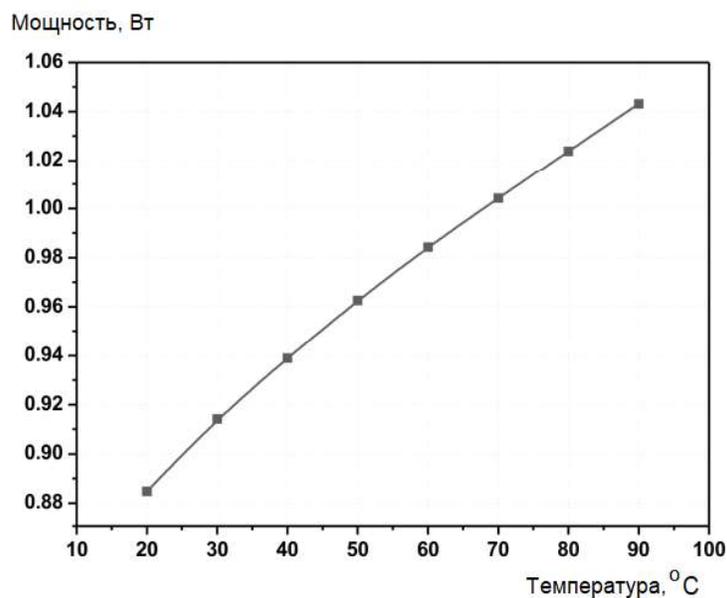


Рис. 2. Зависимость рассеиваемой мощности от температуры на СД кристалле

Первые результаты эксперимента показали, что максимальная разница между значениями температуры в центре и на периферии СД матрицы составляет порядка 5 град.

Для более плотного прилегания светодиодной матрицы к поверхности радиатора и исключения образования под ней воздушных зазоров необходимо использовать теплопроводящую пасту, желательно, с как можно большей теплопроводностью.

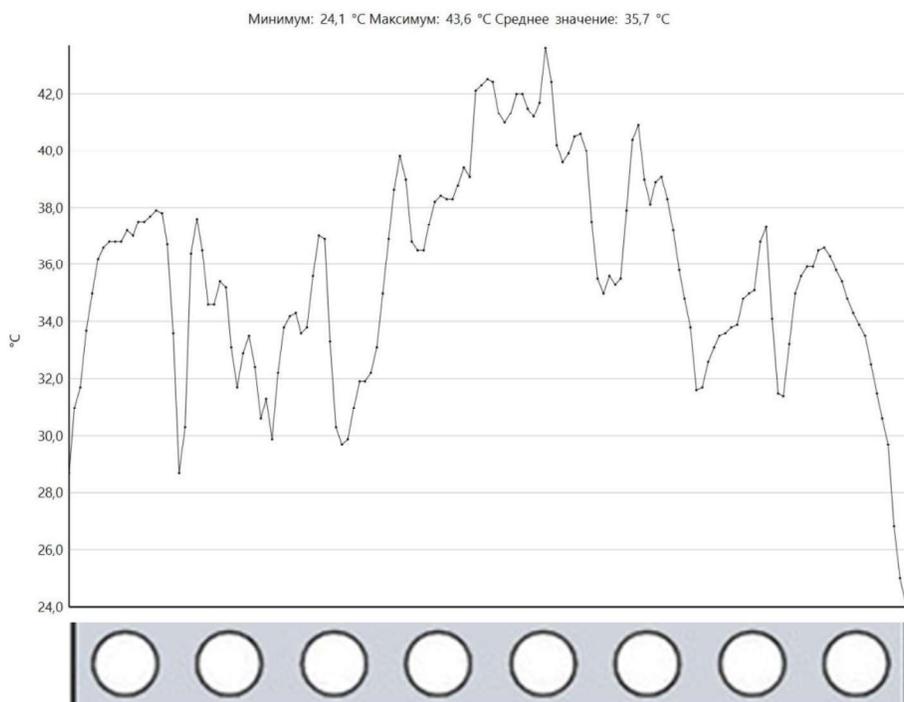


Рис. 3. Температурный профиль COB матрицы

На рис. 4–5 представлены графики рабочих характеристик светодиодной матрицы: зависимости напряжения и относительного светового потока от тока при различных температурах корпуса.

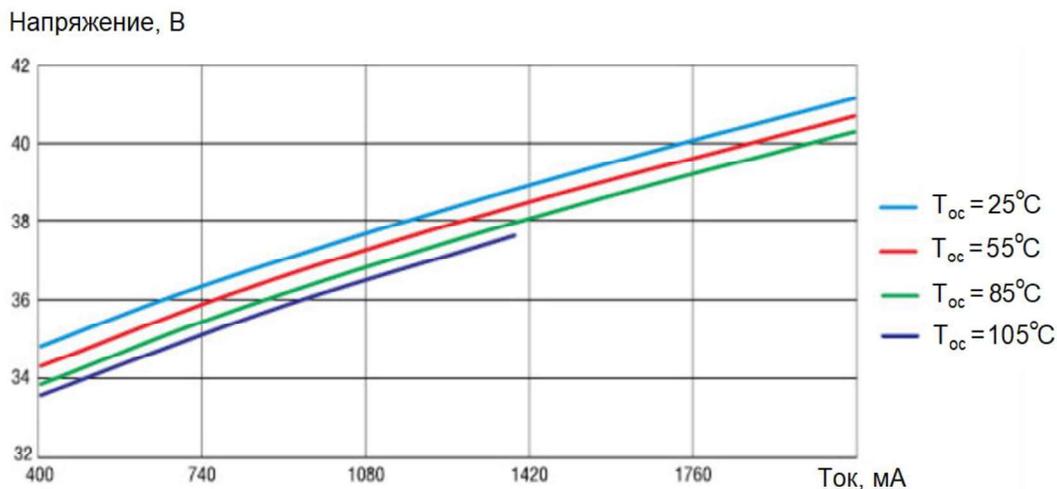


Рис.4. Зависимость прямого напряжения от тока при различных температурах корпуса (T_{oc} – температура окружающей среды, °C)

С увеличением температуры перехода светодиодной матрицы величина светового потока уменьшается, и, наоборот – при хорошем охлаждении поток возрастает. С изменением температуры величина прямого падения напряжения на матрице не изменяется [5].

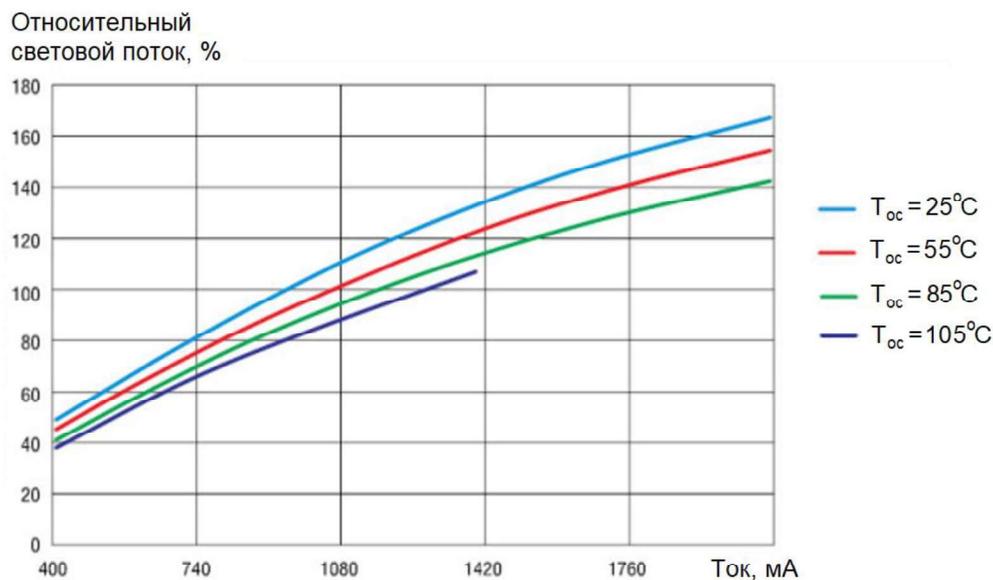


Рис.5. Зависимость относительного светового потока от тока при различных температурах корпуса

Обсуждение полученных результатов и выводы

Повышение мощности и усложнение конструкции СД источников света требует особого внимания к тепловым процессам как внутри отдельных СД, так и матрицы в целом. Исследование и обеспечение оптимального теплового режима *COB* матриц позволят максимально использовать их основные преимущества – долговечность и эффективность.

Список литературы

1. Байнева И. И., Ворожейкин Н. Э. Расчетно-экспериментальные исследования светотехнических характеристик светодиодного модуля // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2022. – № 3. – С. 38–46.
2. Байнева И. И. Проблемы и возможности современного рынка светодиодной продукции // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2019. – № 7 (268). – С. 49–55.
3. Моделирование COB-матриц [Электронный ресурс]: КомПэл [сайт публикации статей] – [Мск., 2020] – Режим доступа: <https://comrel.ru>. (Дата обращения: 02.07.2022).
4. Температурный режим [Электронный ресурс]: ЧипЛэд [сайт публикации статей] – [Мск., 2020] – Режим доступа: <https://chip-led.ru>. (Дата обращения: 01.07.2022).
5. Технические характеристики матрицы [Электронный ресурс]: Bridgelux [сайт производителя] – [Мск., 2022] – Режим доступа: <https://bridgelux.ru>. (Дата обращения: 03.07.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦВЕТОВОГО ВОСПРИЯТИЯ ЛЮДЬМИ РАЗНОГО ПОЛА

*Владимиров И.А., студент; Снетков В.Ю., к.т.н., доцент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В работе проводится проверка гипотезы публикации [1] о том, что женщины различают больше оттенков красного цвета, чем мужчины. Нами экспериментальным путём получены числа различных красных цветов, подтверждающие работу [1], определены параметры этих цветов.

Ключевые слова: цветное зрение, генотип, координаты цветности, трихромат, яркость цвета дисплейного экрана.

Введение

В публикации [1] А.Е. Стаценко и соавторов из Омского Государственного технического университета говорится, что женщины различают больше оттенков красного, чем мужчины. В их опросе участвовали 132 человека с одинаковым числом мужчин и женщин. Правильный ответ (9 оттенков) определили 100 % участниц и только 27 % мужчин.

В [1] говорится также о том, что в X-хромосоме находится особый ген, отвечающий за интерпретацию красного цвета. Учёные из Государственного университета Аризоны [2] установили, что этот ген – *OPN1LW* (*opsin 1, long-wave-sensitive*), причём с 80 модификациями. Ухудшение восприятия красной части спектра у мужчин способны вызвать даже некоторые из «нормальных» вариантов *OPN1LW*. У женщин есть две копии такого гена – отцовская и материнская, которые компенсируют дефекты друг друга (генотип 46XX). Мужчины же имеют лишь материнскую копию гена (генотип 46XY), что специалисты связывают с уменьшением различных оттенков красного цвета.

Метод исследования

В начале исследования необходимо было убедиться в том, что все участники не имеют аномалий в цветовом зрении. Поэтому была проведена проверка наблюдателей с помощью тестов Рабкина и Ишихары. Для проведения основного эксперимента была создана установка на базе компьютера. Демонстрация проводилась на экране ноутбука *ASUS X453M* с *LED* экраном с диагональю 14 дюймов, разрешением 1366×768 *Full HD*, при установке параметров яркости и контрастности на максимальную величину. Для выявления особенностей цветового восприятия мужчин и женщин, использована методика эксперимента из работ [3, 4]. В них приведены результаты исследований особенностей цветового восприятия цветоаномалов и трихроматов с использованием программы «*Color Filtre*», написанной в среде *MATLAB*.

Программа позволяет изменять цвет на одну градацию любого основного цвета компьютера, при этом изменение яркости учитывается, хотя и было незначительным. Описанные в данной работе исследования производились в помещении при общем, равномерном, электрическом освещении без естественного света для создания одинаковых условий для наблюдателей. Для освещения помещения использовались светодиодные светильники с коррелированной цветовой температурой 4000 К. Уровень освещённости в плоскости экрана ($E=300$ лк) был таким, чтобы фон не отвлекал наблюдателей. Пространство, попадающее в поле зрения человека при наблюдениях, не содержало ярких цветных предметов. Отношения яркостей экрана, стены и корпуса ноутбука в поле зрения наблюдателя было не более 1:10. В эксперименте участвовали три мужчины и три женщины. После проверки наблюдателей на отсутствие цветовых аномалий, проводилось исследование особенностей восприятия ими красных цветов, с целью выявления отличий по гендерному признаку. В табл. 1 приведены координаты цветности основных цветов и опорного белого *LED*-дисплея контрольного компьютера, а также яркости этих цветов, измеренные яркомером типа *Konica Minolta LS-100*.

Таблица 1. Координаты цветности опорного белого и основных цветов дисплея компьютера *ASUS X453M*

Цвет	x	y	$L, \text{кд/м}^2$
Белый	0,3128	0,3289	203
Красный	0,6398	0,3307	43
Зелёный	0,3003	0,5998	132
Синий	0,1503	0,0598	28

Координаты цветности всех необходимых цветов, в том числе для таблицы, определены через профиль *Adobe Photoshop* на компьютере, сайт <https://ru.inettools.net> и программу *Colorsheme* [9]. Исходным объектом наблюдения являлось изображение, которое было полностью окрашено в красный цвет (номера градаций красного, зелёного и синего основных цветов соответственно: 180, 0, 20; координаты цветности $x = 0,6258$ $y = 0,3245$), субъективно близкий цвету из статьи [1]. С помощью программы «*Color Filtre*» изменялись, прежде всего, градации красного основного цвета в имеющемся исходном изображении. Каждый испытуемый определял впервые заметное отличие в цвете изображения, а оператор фиксировал все настройки компьютера для последующих

определений цветности и яркости. После получения координат цветности x и y , а затем координат цветности u , v [5] точки были нанесены на диаграмму цветности МКО (рис. 1) и равноконтрастный цветовой график Мак Адама соответственно.

Результаты исследования

Обобщая все наши эксперименты, скажем, что нами были проведены изменения исходного красного цвета по 6 направлениям сдвигов цветности – изменение градаций красного, зелёного, синего по отдельности (при неизменных двух других), а также одновременное варьирование двух основных цветов из трёх. Информативными с большим числом оттенков оказались 2 направления. Как видно из табл. 2, наблюдатели женского пола обнаружили больше различных цветов при изменении отдельно градаций красного в первоначальном цвете. Мужчины для этого направления различают 7–9 новых красных оттенков (в среднем 8), а женщины видят 11–12 новых цветов (в среднем 11). В этом эксперименте женщины в среднем различили на 37 % больше оттенков, чем мужчины. При изменении доли красного и синего одновременно, наблюдатель мужского пола обнаружил 11 оттенков, а наблюдатель женского пола – 15 различных цветов, что на 36 % больше, чем у наблюдателя мужского пола. При сравнении различаемых цветов по двум направлениям выяснилось, что они находятся практически в одной и той же части диаграммы цветности. Таким образом, у женщин на (36–37) % больше различных красных оттенков, чем у мужчин. Новые цвета отличаются между собой, в основном, изменением цветности. Яркость между цветами изменялась, но в среднем на 9 %. На рис. 1 фрагмента диаграммы цветности в международной цветовой системе XYZ отмечены точки различных цветов для одного наблюдателя мужского пола, по которым определены согласно [6] доминирующая длина волны (611-615) нм и чистота цвета (80-90) %.

Таблица 2. Сравнение различных цветов у наблюдателей (изменение градаций красного основного цвета)

№	Пол	Возраст	Деятельность	Количество различных цветов
1	м	22	Студент МЭИ	9
2	м	21	Студент МЭИ	9
3	м	22	Студент МЭИ	7
4	ж	30	Работа в PR организации	11
5	ж	22	Студентка МЭИ	12
6	ж	22	Студентка МЭИ	11

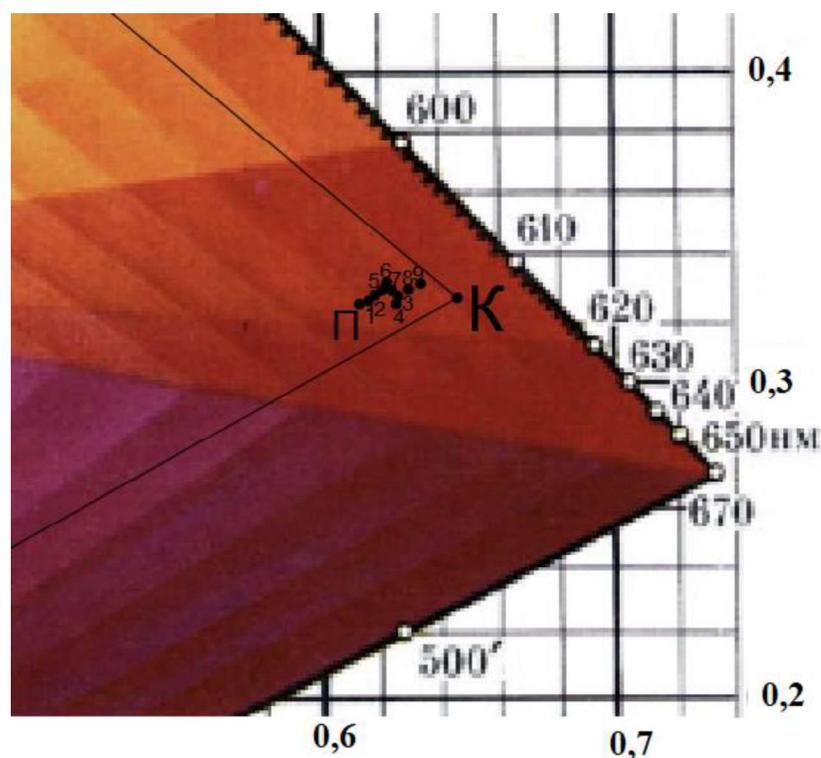


Рис 1. Координаты цветности различных оттенков у наблюдателя №1 мужского пола на фрагменте цветового графика стандартной международной системы XYZ МКО 1931 г. (П-первоначальный цвет, 1-9 различные оттенки)

Обсуждение

Можно сказать, что гипотеза А.Е. Стаценко с соавторами о том, что женщины различают больше оттенков красного цвета, чем мужчины, нами подтверждается. Однако в статье [1] были приведены только иллюстрации используемых в опросе цветов, число оттенков красного цвета было ограничено 10. По итогам нашей работы установлено существенно лучшее (почти в полтора раза) различение красных оттенков у женщин, чем у мужчин, и определены характеристики исследованных цветов по двум направлениям изменения цветности при максимальном числе различимых оттенков 15.

Выводы

Наблюдатели-женщины видят примерно на (36-37) % больше оттенков красного цвета, чем наблюдатели мужского пола.

Данная работа может быть продолжена с использованием иного исходного красного цвета (он будет отличаться от цвета в [1], но зато появится возможность получить информацию по другим направлениям изменения красного цвета). Предполагается также совершенствование программы с целью проведения эксперимента по изменению только цветности любого цвета.

Для продолжения исследований представляет интерес и использование в качестве исходных не только красных, но и других цветов. В первую очередь речь идёт о зелёном цвете, так как в

публикации [7] отмечается, что и в средневолновой части спектра существуют различия в цветовом восприятии женщин и мужчин.

Очень заманчивы для будущего изучения и сведения о наличии у некоторых женщин четырёх типов колбочек [7], а также влиянии комбинаций освещённости и цветовой температуры освещения на предпочтение цветов у мужчин и женщин [8].

Список литературы

1. *Стаценко А.Е., Борисова Е.А., Шинкевич М.Н.* Мужское и женское восприятие цвета. Омский Государственный технический университет, 2020 г.

2. Электронный ресурс: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/3929071.stm>
Время обращения: 12.04.2022

3. *Книженцева А.Д., Снетков В.Ю., Густелёва Ю.А., Масальская А.А.* Новые аспекты цветовосприятия людей с нарушенным цветовым зрением. Социальные трансформации: сборник научных статей / Под ред. Ю.А. Грибер, В.М. Шандлер. – Смоленск: Издательство СмолГУ, 2019. – Выпуск 30: Первый Всероссийский конгресс по цвету, С. 81–85.

4. *Книженцева А.Д., Снетков В.Ю., Густелёва Ю.А., Алексеев Е.А., Кистенёва А.В.* Исследование особенностей восприятия цветов цветоаномалами // Вестник МЭИ. – № 6. 2019. – С. 77–82.

5. *Фершильд М.Д.* Модели цветового восприятия. Второе издание. Перевод Шадрина А.Е. 2004 г.

6. *Боос Г.В., Григорьев А.А., Снетков В.Ю.* Цвет и цветовые расчеты. НИУ «МЭИ», 2016 г.

7. *Фидер Н.А., Комарова Н.Л.* Различия в классификации цветов у мужчин и женщин: количественное исследование World Color Survey // Электронный журнал: nature.com, 2019 г. Время обращения: 12.04.2022

8. *Хуан Ч. и др.* Зависимость цветовых предпочтений от пола // Светотехника. – 2020. – №4. – С. 23–30.

9. Электронный ресурс: <https://colorscheme.ru/color-converter.html>
Время обращения: 12.04.2022.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ СВЕТИЛЬНИКАМИ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

*А.П. Горошков, магистрант; И.И. Байнева, доцент, к.т.н.,
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск*

Аннотация

В данной статье рассматриваются особенности светодиодов нового поколения, а также моделирование конструкции, светораспределения и проекта освещения разработанным светильником с такими светодиодами для производственных помещений.

Ключевые слова: светильник, прожектор, светодиод, матрица, спектр, светораспределение, проект, освещение.

Введение

Светодиоды – самый надежный и эффективный источник освещения, который может быть использован в любой сфере. Компактные размеры светодиодов позволяют создавать на их основе лампы и светильники самых разнообразных форм и размеров – от миниатюрных до гигантских. Это дает возможность создавать эффективные, оригинальные, неповторимые проекты освещения.

Сегодня производится большое количество разнообразных светодиодных ламп, светодиодных прожекторов и светильников для различных сфер деятельности. Светодиодное освещение выгодно применять там, где постоянно необходимо освещение, где дорого обходится частое обслуживание светильников, где необходимо жёстко экономить электроэнергию и где высоки требования по электробезопасности.

В настоящее время особое внимание на каждом предприятии уделяют вопросу энергосбережения, являющемуся одним из самых актуальных вопросов промышленности вследствие постоянного роста стоимости на электроэнергию и прочие энергоносители [1-2].

В связи с этим актуальными являются задачи разработки и проектирования светильников для различных целей освещения, в том числе на базе светодиодов нового поколения.

Анализ светодиодов нового поколения

Исследователи из *OSRAM Opto Semiconductors* добились значительных успехов в создании новых технологий для светодиодных компонентов [3]. Компания изготовила и протестировала первые светодиодные кристаллы, в которых светоизлучающий слой из нитрида галлия выращен на пластинах из монокристаллического кремния, а также представила линейку светодиодных продуктов с люминофором на керамической подложке. Здесь получены опытные образцы светодиодов синего и белого цвета свечения, в которых светоизлучающий слой из

нитрида галлия выращен на кремниевых пластинах диаметром 150 мм (рис. 1). Кремний заменил сапфир, который обычно использовался в качестве подложки, без ухудшения характеристик светодиода.

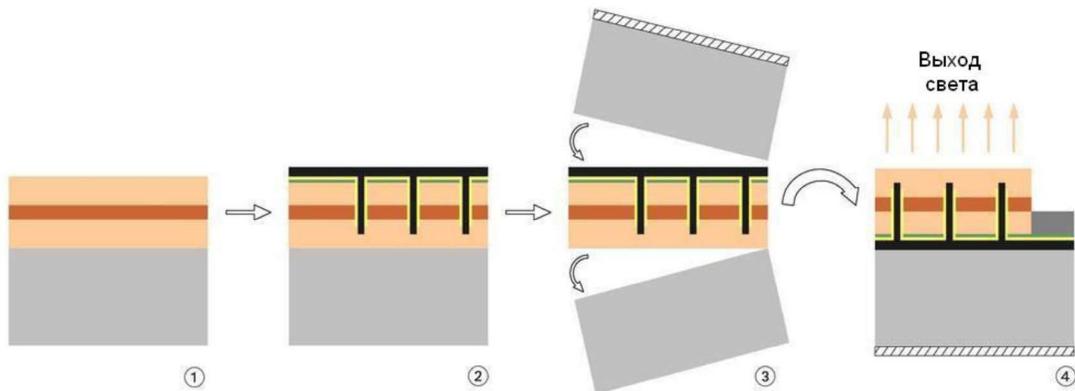


Рис. 1. Кремниевые пластины

Компания *Seoul Semiconductor* разработала технологию *Sunlike* (рис. 2), в которой используются светодиоды с фиолетовым светом, покрытые трёхкомпонентным люминофором, преобразующим фиолетовый свет в полноспектральный с полноценной красной, зелёной и синей составляющей.

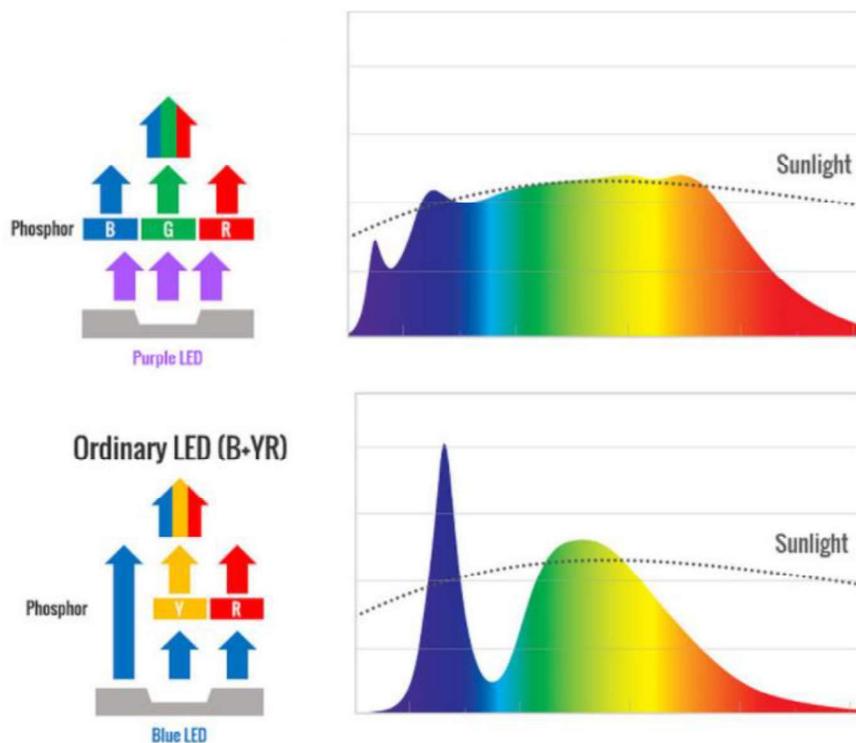


Рис. 2. Технология *Sunlike*

Также светодиод *Sunlike*, спектр которого ближе всего к спектру солнечного света, получил сертификат *RG 1 Eye Safety*. Это максимальный уровень безопасности среди светодиодов мощностью 25 Вт в исполнении *COB*. В 2021 г. компания *Samsung Electronics* [4] представила новый светодиодный корпус средней мощности *LM301B EVO*, который был разработан, чтобы задать темп в области светоотдачи и качества цвета для внутреннего и промышленного применения.

Компьютерное проектирование светодиодного светильника

Для исследования характеристик светодиодов нового поколения и возможностей их эффективного применения был спроектирован светильник ДСП01-145-001 (светодиодный, подвесной, мощностью 145 Вт), предназначенный для общего освещения производственных помещений.

В САПР КОМПАС-3D разработана модель светильника и его компонентов (рис. 3).

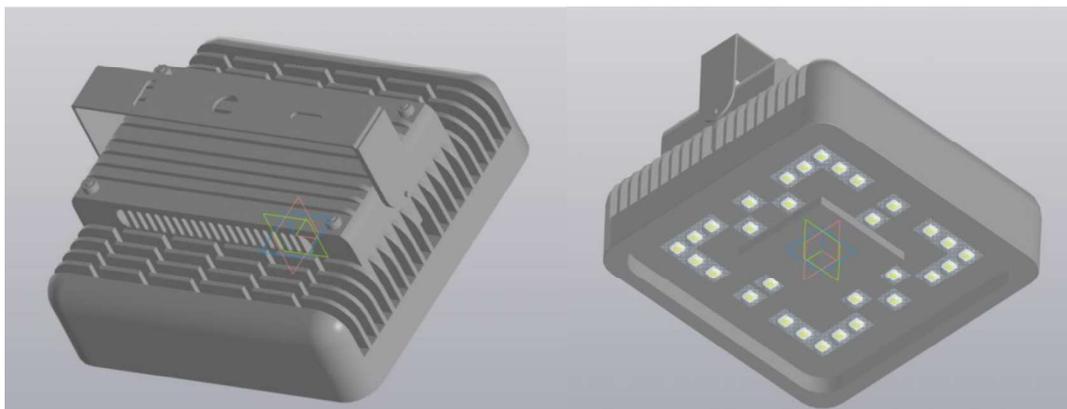


Рис. 3. 3D-модель светильника ДСП01-145-001

В программе *TracePro* осуществлено моделирование светораспределения модели светильника с получением кривых сил света (рис. 4) и формированием *IES*-файлов, с помощью которых в программе *DIALux* проводился светотехнический анализ светильника. В качестве нормативного документа используется нормативный документ СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [5], согласно которому нормируемые параметры освещения: освещённость 500 лк, *UGR* не менее 21, равномерность не менее 0,4. На рис. 5–6 представлены результаты разработки проекта освещения производственного помещения такими светильниками.

Обсуждение полученных результатов и выводы

Анализируя результаты проекта освещения, можно заключить, что световые приборы ДСП1-145-001 позволяют реализовать проекты промышленного освещения, удовлетворяющих всем требованиям нормативного документа СП 52.13330.2016. Проект на базе светильников ДСП01-145-001 позволяет при наименьшем количестве световых

приборов (3 штуки) создать сцену освещения с абсолютно такой же равномерностью, что и его аналоги с традиционными источниками света (лампами типа ДРЛ, в статье данное проектирование не приведено). Пороговое приращение яркости в проекте освещения на базе ДСП1-145-001 также ниже.

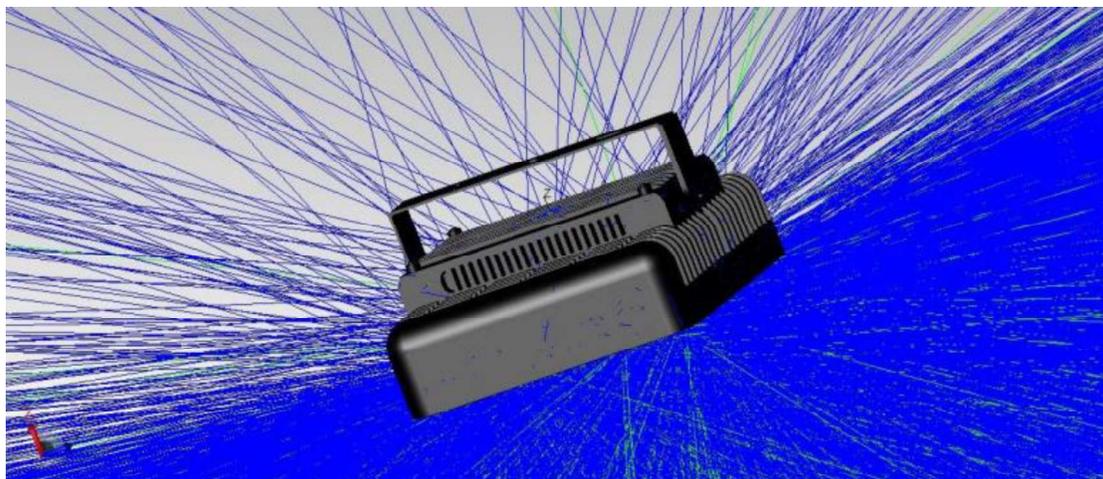


Рис. 4. Моделирование и трассировка лучей светильника в программе *TracePro*

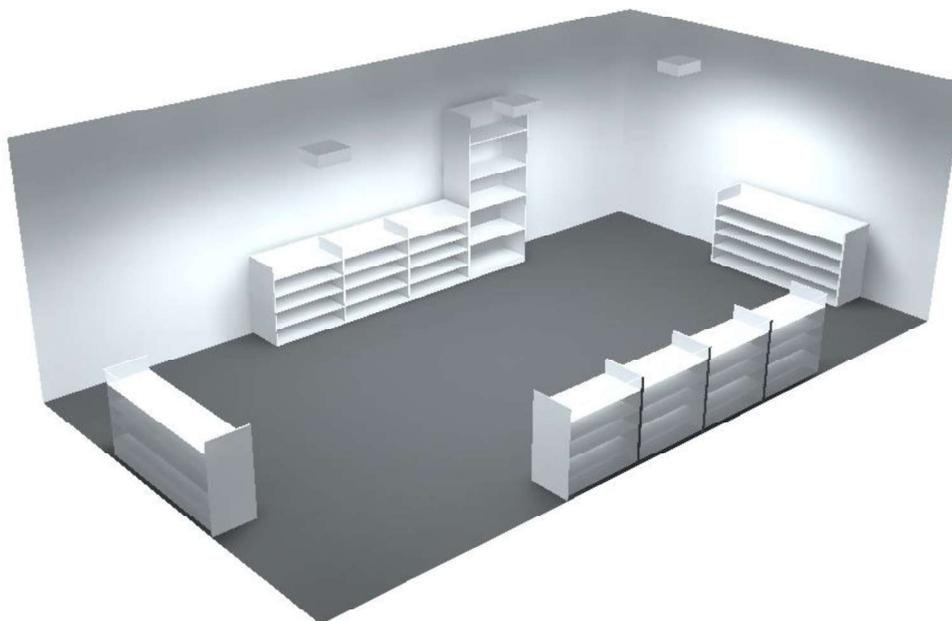
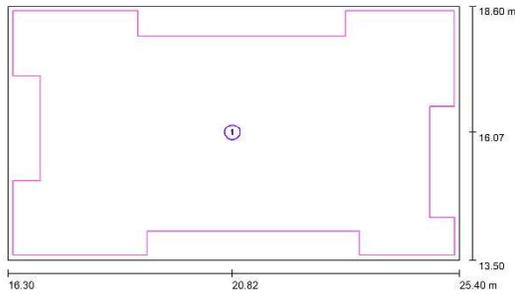


Рис. 5. Визуализация проекта освещения световыми приборами ДСП01-145-001

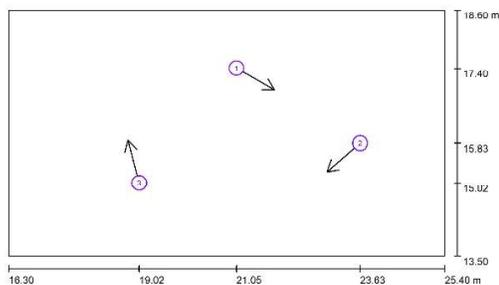


Масштаб 1 : 66

Список расчетных поверхностей

№	Обозначение	Тип	Растр	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}	E_{max} / E_{min}
1	Расчетные поверхности 2	по вертикали	20 x 20	500	206	709	0.412	0.290

Склад / UGR-наблюдатель (Обзор результатов)



Масштаб 1 : 66

UGR Список расчетных точек

№	Обозначение	Позиция [m]			Направление взгляда [°]	Значение
		X	Y	Z		
1	UGR Расчетная точка 1	21.053	17.400	1.500	-30.0	>30
2	UGR Расчетная точка 2	23.633	15.030	1.500	-140.0	26
3	UGR Расчетная точка 3	19.024	15.016	1.500	105.0	28

Рис. 6. Светотехнические результаты проекта освещения световыми приборами ДСП01-145-001

Список литературы

1. Байнева И.И. Актуальные проблемы светового загрязнения городской среды // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2022. – № 5. – С. 51–55.
2. Байнева И.И., Шкарин В.И. Исследование и компьютерное проектирование осветительных установок со светодиодными светильниками // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2021. – № 1. – С. 39–45.
3. Светодиоды нового поколения от OSRAM [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.svetstk.ru>.
4. LM301H Evo – новые светодиоды для садоводства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cre.science>.
5. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – Введ. 2017-05-08. – М.: Минстрой России, 2016. – 106 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦВЕТОДИНАМИЧЕСКИМ ОСВЕЩЕНИЕМ

*Григорьев Н.Э., бакалавр; Фомин А.Г., к.т.н. доцент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Работа посвящена разработке блока управления излучающим светодиодным модулем, предназначенным для широкого применения в установках внутреннего и наружного цветодинамического освещения. Отличительной особенностью применённых модулей является возможность индивидуального (адресного) управления кристаллами с использованием единственной однопроводной линии связи.

Ключевые слова: цветодинамическое освещение, *RGB* светодиоды, управление светодиодными модулями, цветовая температура, диммирование, *Arduino*, протокол *SPI*.

Введение

Светодиодные источники белого света могут быть рекомендованы к постоянному применению для искусственного освещения бытовых и общественных помещений. Многочисленные исследования воздействия белого светодиодного света путём электроэнцефалограммы головного мозга показывают активность в пределах нормы [1–3]. При этом, подбирая различные соотношения цветовой температуры и освещённости, можно добиться повышения результатов в тестах на когнитивные способности до 30 %.

Кроме этого, в условиях бытового и архитектурного освещения часто востребовано также цветное освещение с разной степенью насыщенности, которое может быть интегрировано в одни и те же световые приборы с общим белым освещением. Современная микроэлектронная промышленность предлагает целый ряд многокристальных светодиодных источников с удобными интерфейсами управления, которые могут быть использованы для данной цели. Одной из важнейших задач их применения является разработка соответствующих систем управления, позволяющих получить заданные цветности излучения «одним касанием», чему и посвящена данная работа.

Методы исследования

В качестве базового источника света переменной цветности был выбран светодиод типа *WS2812B* [4]. Этот элемент объединяет в одном корпусе типа *SMD5050* три кристалла (*R*, *G*, *B*) с независимыми источниками питания с ШИМ-модуляцией, а также схему управления по протоколу *SPI*. Данный протокол представляет интерес в первую очередь за счёт того, что позволяет индивидуально управлять практически неограниченным количеством кристаллов по однопроводной линии

связи. Следовательно, он является крайне перспективным для построения многорежимных световых приборов с управляемыми характеристиками.

В качестве исходных данных для разработки системы управления данными светодиодами было выбрано несколько стандартных режимов, соответствующих белому свету с наиболее часто применяемыми цветовыми температурами: 2700, 3000, 3500, 4000, 5000 и 6500 К. С использованием спектральных характеристик каждого из кристаллов, полученных при помощи спектроколориметра *Konica Minolta CL-70F* (рис. 1), были рассчитаны уровни управляющих сигналов для каждого кристалла, соответствующие точкам на линии излучения абсолютно чёрного тела.

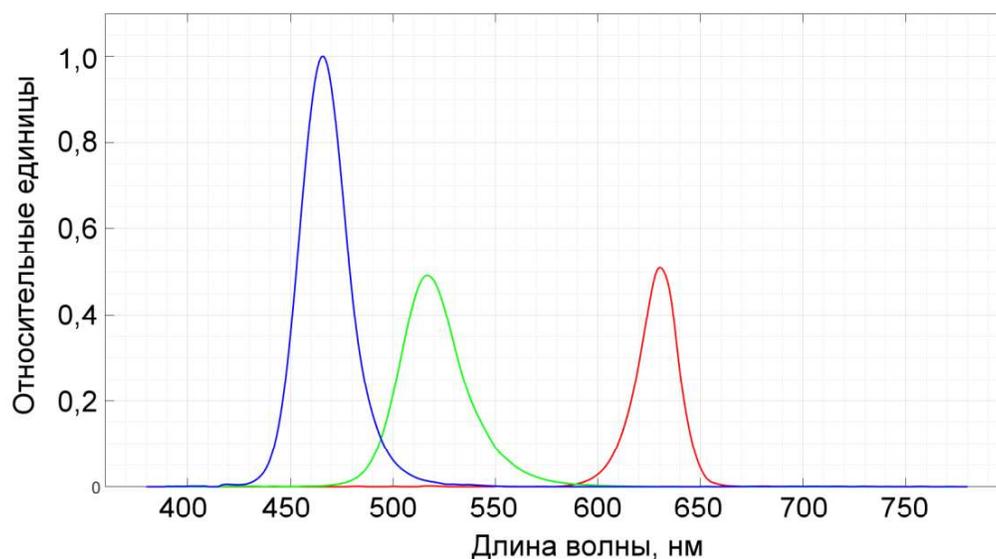


Рис. 1. Спектральные характеристики кристаллов светодиода *WS2812B*

Система управления была реализована на базе платформы *Arduino*, с использованием платы, работающей на базе микроконтроллера *ATmega2560*. Регулирование параметров реализовано при помощи инкрементальных энкодеров, имитирующих аналоговые регуляторы. Алгоритм опроса энкодеров реализован с использованием прерывания – процесса, который временно переключает контроллер на выполнения другой функции, и после её завершения возвращается к текущей. Для придания устройству многоканальности были также задействованы: мультиплексор *TCA9548A* и несколько расширителей *PCF8574*. Структурная схема разработанной системы управления показана на рис. 2.

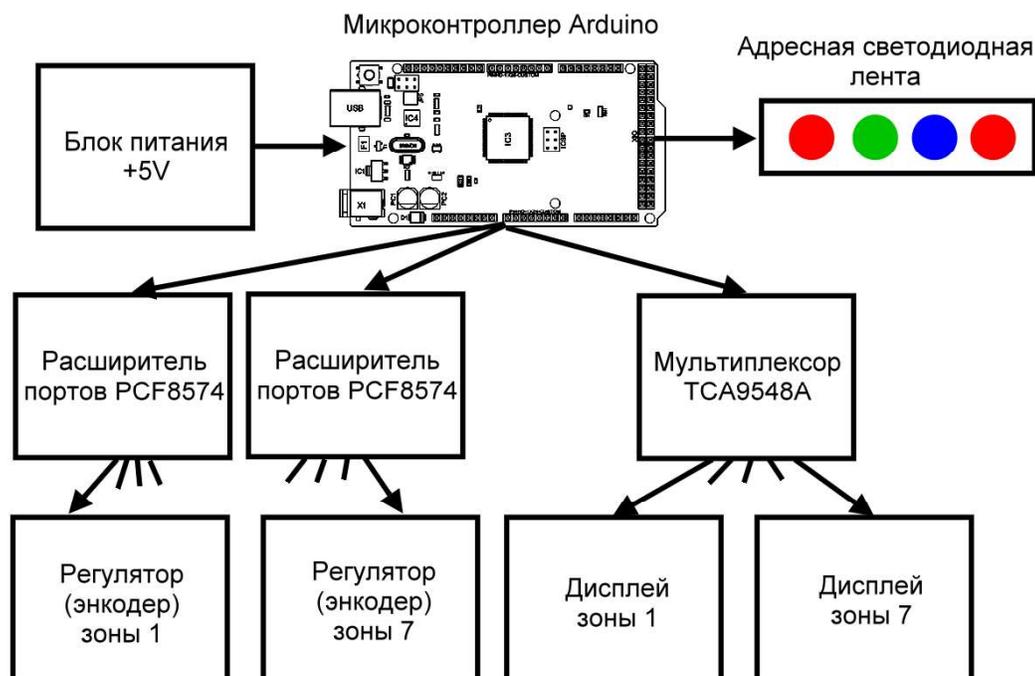


Рис. 2. Блок-схема разработанной системы управления освещением

Программное обеспечение было разработано в среде *Arduino* с использованием открытых библиотек *Arduino.h*, *Wire.h*, *rotaryDecoder.h*, *OLED_I2C.h*, *FastLED.h*.

Результаты

Для проверки предложенной концепции построения системы управления освещением был построен небольшой демонстрационный макет, позволяющий осуществлять индивидуальное управление несколькими участками адресной светодиодной ленты с нескольких отдельных постов управления, снабжённых дисплеями. Для демонстрации возможностей данной системы был также создан демонстрационный проект офисного помещения с возможностью персонализации освещения рабочих мест сотрудников (рис. 3).

Каждое рабочее место оснащено локальным осветительным прибором с регулируемым световым потоком и цветовой температурой. Это позволяет максимально учесть личные предпочтения освещённости рабочего места. Основным недостатком белого света, получаемого в сочетании излучения красного, зелёного и синего светодиодов – низкий индекс цветопередачи ($Ra \leq 70$). Однако исследования ряда авторов показывают, что субъективное цветовосприятие от такого освещения может даже выигрывать [5].



Рис. 3. Проект офисного пространства с возможностью персонализации освещения рабочих мест (визуализация из *DIALux evo*)

Обсуждение

Разработанная система управления является мультифункциональной, что позволяет параллельно взаимодействовать с устройствами в 8 различных зонах интерьера либо экстерьера. Используемый контроллер предоставляет 256 КБ *Flash*-памяти для хранения прошивки, разработанный скетч задействует всего 7 % из них, что позволяет множественно расширять возможности управления данного элемента.

Известные в настоящее время многозонные системы управления освещением рассчитаны, как правило, на подключение к сетям передачи данных с использованием мобильных приложений [6, 7]. Кроме этого, они как правило предполагают использование в световых приборах более сложных и дорогих интерфейсов, таких как *DALI* или *DMX512*. Поэтому, с нашей точки зрения, разработанный нами вариант системы мог бы оказаться уместным для применения в небольших осветительных установках с ограниченным бюджетом.

Выводы

Разработана универсальная система управления цветодинамическим освещением, которая может быть использована в качестве инструмента для реализации разнообразных осветительных установок. Например, во внутреннем освещении на базе этой системы может быть построена концепция персонализации освещения рабочих мест, а в наружном освещении подобная система позволит реализовать различные цветовые схемы и их лёгкую смену. Немаловажной особенностью разработанного прототипа является его низкая стоимость, позволяющая применять его в проектах с ограниченным бюджетом.

Список литературы

1. *McIntyre IM, Norman TR, Burrows GD*. Melatonin supersensitivity to dim light in seasonal affective disorder // *Lancet*, 335 (1990), p. 488.
2. *Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk DJ*. Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality // *Scand J Work Environ Health*, 34(4) 2008, p.297-306.
3. *Шуриев Р.Р., Закиева Р.Р.* «Теппинг-тест» как метод исследования воздействия цветоцветовой среды на качество профессиональной подготовки студентов технических вузов / *Вестник Марийского государственного университета*. – 2018, Т12, № 2 (30). – С. 84–91.
4. WS2812B: Intelligent control LED integrated light source. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812B.pdf>
5. *Есикова А.Д., Фомин А.Г.* Исследование субъективной оценки цветопередачи источников белого света переменной цветности // *Светотехника*. – 2022. – №1. – С. 44–48.
6. Casambi App User Manual. URL: <https://support.casambi.com/support/solutions/articles/12000021610-casambi-app-user-guide-english-pdf> (дата обращения 28.08.2022).
7. Light shapes the future and the past. Product Portfolio 2022 // URL: <https://www.osram.com/apps/downloadcenter/ecue/en/> (дата обращения 28.08.2022).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ РЕСТОРАНА

*Гудемчук В.А., студент; Романова Т.К., старший преподаватель,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В работе изучены современные приёмы освещения заведений общественного питания, рассмотрены удачные реализованные проекты. На основании изученной литературы предложены три концепции освещения реального ресторана в г. Москве с несколькими сценами освещения. Проведен эксперимент с освещением определённых продуктов питания при помощи ОП, в качестве которых используются светодиодные матрицы с различными спектрами, проанализированы полученные результаты.

Ключевые слова: моделирование освещения, ресторан, светодиодные матрицы, концепции освещения, световые сцены.

Введение

Актуальность работы обусловлена тем, что каждый день в мире открывается большое количество ресторанов и кафе, следовательно, растёт конкуренция в ресторанном бизнесе. Именно поэтому владельцам ресторанов нужно уделять большое внимание атмосфере, один из факторов которой – освещение.

Существует множество способов освещения мест общественного питания, выбор которых зависит от вида ресторана, времени работы, ценового сегмента, дизайна интерьера и количества освещаемых зон. Современные рестораны обычно нацелены на проведение разных мероприятий, поэтому большое значение имеют световые сцены и способы управления ими.

Так же с помощью эксперимента было решено выявить необходимые характеристики светодиодных источников света для качественного освещения мест общественного питания.

Методы исследования

Для правильного подбора видов и способов освещения был проведен анализ объекта по системе 3-А. Это означает, что была проанализирована атмосфера ресторана, активность в заведении и архитектура. Также для составления нужного количества световых сцен нужно учитывать зрительные задачи всех помещений объекта.

Моделирование реального объекта и расчет качественных и количественных характеристик, нормируемые значения которых указаны в СП 52.13330.2016, производилось в программе *DIALux evo*.

Объектом эксперимента являлась пицца с тремя видами начинок: сырная, пепперони и овощная. Пицца освещалась 8 видами светодиодных матриц с разными цветовыми температурами и индексами

цветопередачи. Полученные виды освещения фотографировались и оценивались десятью наблюдателями.

Также с помощью спектрометра и люксметра измерялись спектр, цветовая температура, и индекс цветопередачи матриц.

Результаты

После проведения эксперимента наблюдателям требовалось оценить по пятибалльной шкале привлекательность одновременно трёх пицц с разными начинками, в результате наилучшие результаты показала матрица с цветовой температурой 3000 К и $CRI > 90$. Следовательно, при проектировании ресторана желательно ориентироваться на такие параметры светодиодных световых приборов. Однако, при оценке пицц по отдельности, результаты оказались другими. Для овощной пиццы наилучшие результаты показала матрица с технологией *Vivid Brilliant*.

Так как такая технология позволяет сделать цвета продукта более насыщенными, такие матрицы выгодно применять при освещении десертов, фруктов и других продуктов, в которых важна насыщенность цвета. При оценке вариантов освещения пиццы пепперони наблюдатели не заметили разницы между 3000 К и 4000 К.

Основное значение имела не цветовая температура, а частный индекс цветопередачи $R9$. Для мясных продуктов он должен быть не меньше 60, а $CRI > 90$. Именно матрицы с такими характеристиками и показали наилучшие результаты при оценке наблюдателями. Для сырной пиццы наилучшей оказалась матрица $CRI > 90$ и $T_c=3000K$. Полученные результаты могут использоваться как для общего освещения ресторанов, так и для витринного освещения.

При анализе литературы было выявлено, что для определения вида освещения, используемого при проектировании, нужно определить, на какой вид обслуживания ориентирован ресторан. В соответствии с исследованиями Кнеза и Керса, было выявлено, что яркое равномерное освещение подходит для заведений быстрого питания (например, *McDonald's*).[7]

Также такое освещение хорошо подойдет для пиццерий и семейных кафе. С другой стороны, менее яркое, теплое освещение в дорогом заведении создает расслабляющую и комфортную атмосферу, побуждая посетителей задерживаться в заведении на более долгое время. Эти данные можно найти и в исследовании Барона Р.А, в которых подтверждается, что уровень комфорта растет при более низких освещенностях.[6]

В работе была создана модель реального ресторана в программе *DIALux evo*. Ресторан выполнен в стиле минимализм, преобладают светлые пастельные тона. В ресторане помимо обычных приемов пищи проводятся мастер-классы, лекции и просмотры фильмов. Было создано три концепции освещения.

Первая концепция имеет 6 сцен освещения: три сцены для приёмов пищи и две дополнительные для мероприятий. Первые три сцены плавно сменяют друг друга в течение дня. Используется «принцип наблюдателя», это означает, что столы освещаются в большей степени, чем окружающая обстановка [5]. Именно поэтому используется общее локализованное освещение.

Особенность концепции в том, что в течение дня меняются не только сцены освещения, но и цветовая температура: 2700 К утром, в обед – 3500 К, а к вечеру – снова 2700 К. Это сделано для того, чтобы освещение имитировало естественное освещение, однако из-за низкой нормируемой освещённости в ресторане не рекомендуется использовать световые приборы с цветовой температурой выше 4500 К (Кривая Крюитгофа).

Для реализации такой концепции были выбраны светильники фирмы *ERCO*, которые крепятся на шинопровод. Управление цветовой температурой и сценами производится на экосистеме *Casambi* с помощью технологии *Tunable white*. Светильники подбирались исходя из требуемого светораспределения, например, для равномерного освещения длинного стола использовались светильники с овальной оптикой. Такая оптика позволяет получить световое пятно в форме овала. Также важно было учесть важность вертикальной составляющей освещённости, для этого стены равномерно освещались светом с помощью оптики *Wallwasher*. А для освещения маленьких столов использовались концентрированные кривые силы света. Для создания романтической и приглушённой сцены освещения использовались настольные светильники фирмы *FLOS*.

Вторая концепция имеет три сцены освещения с аналогичным назначением, как и первая концепция. Однако используются не светильники на шинопроводе, а подвесные светильники фирмы *BEGA*. Цветовая температура у концепции фиксированная – 3000 К. Управление сценами и диммирование осуществляется с помощью протокола *DALI*.

Третья концепция построена на низковольтной профильной системе *FLOS*. Предусмотрена одна повседневная сцена и две дополнительные для мероприятий, также есть возможность выбора системы управления между *DALI* и *Casambi*.

В результате три концепции были рассчитаны в программе *DIALux evo*. В результате расчётов, все три концепции имеют средние освещённости на столах 192–240 лк, бар – 313–346 лк. Наименьший *UGR* получился у первой концепции ($UGR < 10$). Это связано с использованием светильников с концентрированными кривыми силами света и большими защитными углами. Вторая и третья концепция имеет $UGR = 20,8$.

Цилиндрическая освещённость не нормируется для ресторана, но она была рассчитана для сравнения трёх концепций. Наибольшая цилиндрическая освещённость у третьей концепции $E_{цил} = 162$ лк. У первой наименьшая – 90,5 лк.

Если сравнивать концепции по экономичности, то самой экономичной оказалась концепция №2, так как у нее самая маленькая удельная мощность ($5,92 \text{ Вт/м}^2$). Самая большая удельная мощность у первой концепции ($8,77 \text{ Вт/м}^2$), однако, значение в пределах нормы.

Наиболее удачной, по моему мнению, оказалась концепция № 1, так как она имеет оптимальное количество сцен освещения, наименьший *UGR*, а использование дополнительно настольных светильников позволяет создавать приглушенную романтическую атмосферу.

На рис. 1 представлена сцена №1 данной концепции в фиктивных цветах.

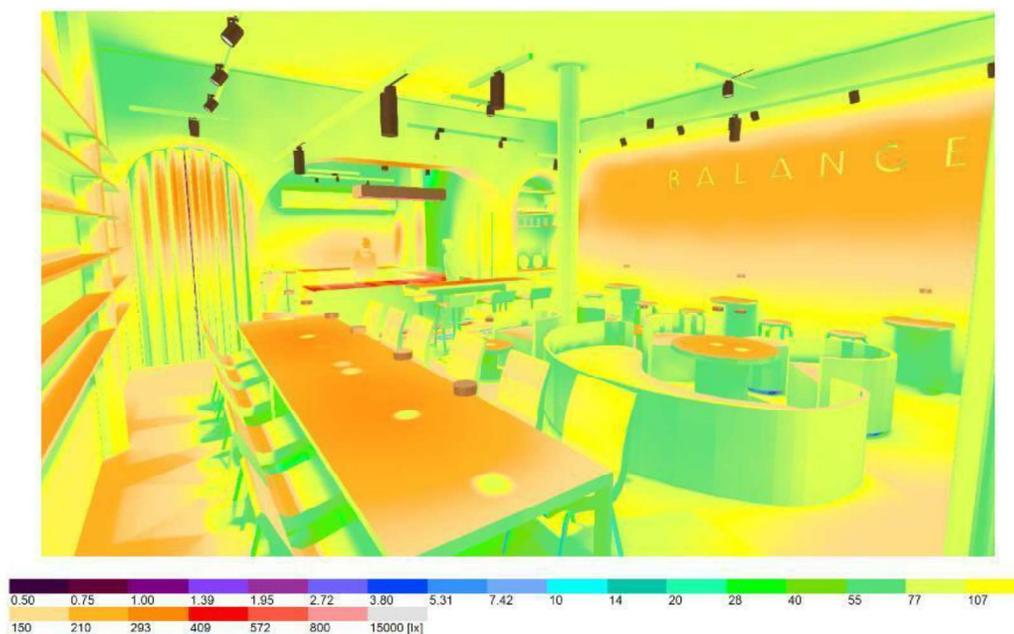


Рис.1. Расчет в фиктивных цветах сцены №1 концепции №1

Обсуждение

В результате показатели средней освещённости, полученные во всех трёх концепциях, соответствуют нормируемым значениям. Качественные характеристики существенно различаются во всех концепциях, но в допустимом диапазоне.

При проектировании освещения были применены основные предложенные в литературе способы установки световых приборов: подвесные, настольные, на шинопроводе и модульные системы.

Выводы по работе

При проектировании были учтены современные тенденции в проектировании и эксперимент с освещением определённых продуктов питания при помощи ОП, в качестве которых используются светодиодные матрицы с различными спектрами.

Полученные результаты моделирования и расчёта позволяют судить о том, что данная осветительная установка будет создавать комфортное и удобное в управлении освещение для работы и отдыха.

Список литературы

1. Свод правил СП 52. 13330. 2016 «Естественное и искусственное освещение»
2. EN 12464-1:2011 Light and lighting- Lighting of work places – Part 1: Indoor work places .
3. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю. Б. Айзенберга, Г. В. Бооса. 4-е изд. перераб. и доп. с. 422
4. *Kotler, P.* (1973, Winter). Atmosphere as a marketing tool. *Journal of Retailing*, (49), 48–64.
5. Fördergemeinschaft Gutes Licht/Good lighting for Hotels and Restaurants/11 выпуск
6. *Baron, R. A.*, 1990. Lighting as a source of positive affect. *Progressive Architecture* 71,123–124.
7. *Knez, I. , Kers, C.*, 2000. Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior* 32 (6), 817–831.
8. *Скобарева З.А.* О биологических аспектах освещения // *Светотехника*. – 2006. – № 1. – С. 52–55.

ЦИФРОВОЙ КОЛОРИМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ И НЕРАВНОМЕРНОГО ЦВЕТА

*Жбанова В.Л., к.т.н., доцент,
филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, ООО «СФЕРА»*

Аннотация

В работе описано исследование разработанного цифрового колориметра для измерения цвета объектов неравномерного цвета и сложной формы. Такими объектами считаются стразы, алмазы, бриллианты, кристаллы, камни, руды и др. Работа актуальна в виду отсутствия подобных приборов на рынке. Представлен прототип разработанного устройства, описаны его основные части. Обоснована методика измерения по требованиям Международной комиссии по освещению. Представлена система цветоделения на основе цветных оптических стекол. Разработана программа для работы с цифровыми снимками колориметра и расчета координат цвета и цветности в различных колориметрических системах, а также изменение цвета относительно эталонных значений. Исследование проведено на основе образцов цветных оптических стекол для семи групп цветов: синие, зелёно-синие, зелёные, жёлто-зелёные, жёлтые, оранжевые, красные. Проведен анализ экспериментальных значений. Разработанная система показала конкурентоспособность по сравнению с другими современными системами регистрации цветных изображений.

Ключевые слова: цифровое устройство, колориметр, цветовой треугольник, колориметрическая система, камера, система цветоделения, светофильтры, страз, цветность, цвет, *RGB*.

Введение

Основной технологической проблемой является отсутствие колориметров для работы с объектами неоднородного цвета и сложной формы. На рынке представлен широкий номенклатурный перечень цифровых колориметров, работающих в различных колориметрических системах, стационарных и портативных устройств, способных относительно точно определять координаты цвета объектов. Разновидностей много, однако, функционал одинаковый: измерение цвета и цветности объектов однородного цвета. Есть колориметры способные измерять цветовые параметры мелких однородных объектов, таких как крупы, зерна, что сводится к усреднению превалирующего цвета в общей массе (к примеру, колориметр *Znh*). Подобные приборы отличаются высокой стоимостью при своей ограниченности. Поэтому тема колориметров для работы с объектами неравномерного цвета является весьма актуальной [1, 2].

Под неравномерным цветом понимается отклонение в тоне или насыщенности, в таких объектах как камни, кристаллы, минералы, руды, костные ткани.

Для объективной оценки цвета и цветности образцов неравномерного цвета и сложной формы предлагается обработка цифровых изображений исследуемых объектов. Ключевым в исследовании является равномерное освещение, достигаемое применением фотометрического шара или интегрирующей сферы по рекомендациям Международной комиссии по освещению (МКО). Однако в колориметре предлагается помещать в центр сферы не источник излучения, как это реализуется в интегрирующих сферах, а объект исследования; сам источник размещать по одной из рекомендованных МКО систем освещения/наблюдения. Подобный прием позволит равномерно осветить неоднородный объект и при этом исключить цветовые и световые засветки, а также возможный блеск [3].

Было предложено разработать систему цветоделения с характеристиками согласованными с рабочим цветовым пространством, как представлено в источнике [4]. При этом разработано цветовое пространство КЗС-2 (Красный, Зелёный, Синий) с телом цветового охвата более 90 % видимых цветов, в отличие от систем *sRGB* и *AdobeRGB* [2]. Идеальные кривые без второстепенных пиков и отрицательных ветвей есть только у основной физиологической системы КЗС. Однако цветовой треугольник системы включает множество нереальных цветов, что затрудняет применение в цифровых устройствах. Поэтому при разработке были подобраны такие координаты основных цветов, чтобы не было включения нереальных цветов и второстепенных пиков. Координаты основных цветов разработанной системы на графике $xу$: К (0,735; 0,265), З (0;1), С (0,174; 0,005). Под кривые сложения разработанной системы, полученные по методике [5 стр. 249–256, 6] были разработаны наборы цветных оптических стекол для красного, синего и зеленого каналов при учете влияния спектральной характеристики монохромной камеры.

При пересчете полученных цветов в разработанной системе в международную *CIEXYZ* 1931 будут применены найденные коэффициенты перехода [5 стр. 249–256]. Это позволит реализовать согласованную систему цветоделения и минимизировать цветовые погрешности на этапе регистрации изображения.

Методы разработки и исследования

После проектирования и разработки конструкторской документации были созданы основные детали колориметра на 3D-принтере и произведена сборка устройства (рис. 1, а). Собранный колориметр состоит из следующих частей (рис. 1, б):

- 1 – верхняя полусфера;
- 2 – нижняя полусфера;
- 3 – обод;

- 4 – ось;
 - 5 – столик;
 - 6 – фиксатор источника;
 - 7 – кольцо фиксатор;
 - 8 – короб СФ;
 - 9 – крышка короба СФ;
 - 10 – муфта;
 - 11 – короб источника;
 - 12 – крышка короба источника;
 - 13 – заглушка;
 - 14 – подставка;
 - 15 – источник;
 - 16 – объектив;
 - 17 – удлинительные кольца;
 - 18 – монохромная камера КРС-600ВН или ZWO ASI120MM-S (mono) (<https://astronomy-imaging-camera.com/product/asi120mm>);
 - 19 – наборы корректирующих СФ.
- Также как дополнение можно отнести:
- 20 – наборы объективов;
 - 21 – штатив камеры.

Для диффузного отражения внутри бокса предусмотрено специальное покрытие сульфатом бария с нитроцеллюлозным клеем. Внутри короба СФ, крышки короба и заглушки произведено чернение.

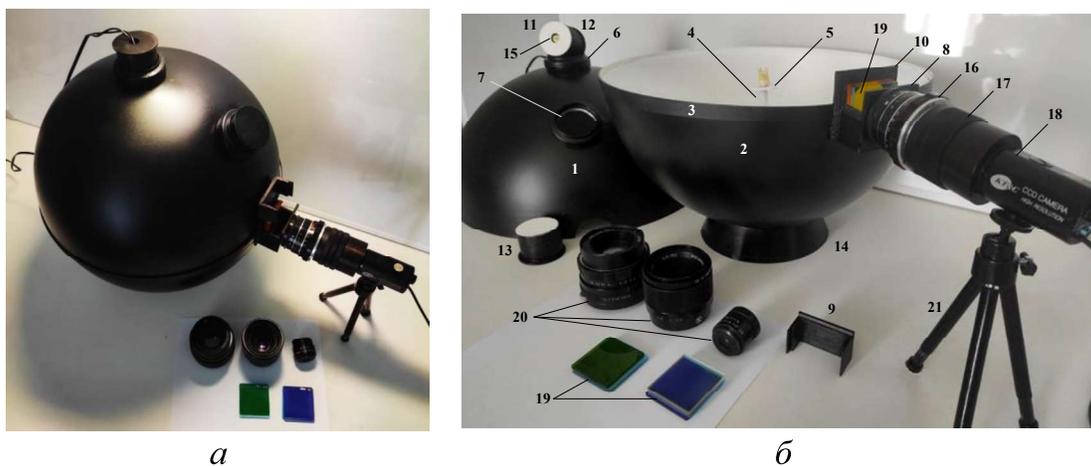


Рис. 1. Внешний вид разработанного колориметра: *а* – в сборке; *б* – разобранный

В основе методики измерений лежат следующие стандарты: ГОСТ 7721-89, ГОСТ 9411-91, ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002, ГОСТ Р 52489-2005, ГОСТ Р 52490-2005, ГОСТ Р 52662-2006, ГОСТ 23198-2021, ГОСТ Р 55702-2020.

Для исследования объектов в сфере предусмотрены три отверстия по рекомендациям МКО: одно выходное отверстие для регистрации излучения и два входных отверстия: под 90° к нормали от предметного

столик и 45°. Два последних отверстия позволят менять расположение источника относительно объекта, что поможет наиболее полно осветить объект сложной формы и найти рабочее положение, в котором будет видна однородная цветовая область объекта без бликов. Освещение объекта направленным светом в совокупности с рассеивающей свет сферой реализует направленно-рассеянное равномерное освещение и позволяет исключить цветовые и световые помехи внутри бокса. Отверстия в боксе не превышают 10 % всей площади. При реализации новой системы КЗС были подобраны корректирующие наборы СФ для красной, зеленой и синей составляющих с целью коррекции спектральной характеристики матрицы под кривые сложения этой системы по выражению

$$S_{\lambda\tau} = S_{\lambda} \tau_{\lambda 1} \dots \tau_{\lambda n},$$

где S_{λ} – спектральная чувствительность камеры; $\tau_{\lambda 1}, \dots, \tau_{\lambda n}$ – коэффициенты пропускания корректирующих СФ на определенной длине волны.

Для каждого основного цвета подобран набор корректирующих СФ: К (ОС11, ОС17, СЗС23); З (ЗС10, СЗС23); С (СС5, ЖС4, СЗС23).

Таким образом, колориметр состоит из следующих основных частей:

- осветительной части, включающей источник излучения и фотометрическую сферу (бокс), покрытую изнутри диффузно-отражающим покрытием;

- цифровая часть, включающую монохромную камеру и ПК;

- системы цветоделения, состоящей из набора трёх СФ, корректирующих монохромную спектральную характеристику камеры под кривые сложения красного, зеленого и синего цветов разработанной цветовой системы; эти СФ поочередно помещаются в специальный короб на выходе излучения.

Для работы с цифровыми снимками и определения координат цвета и цветности рабочих областей объектов исследования в колориметрических системах МКО $XYZ, LUV, LAB, xy, uv, u'v'$, а также изменения цвета и цветности в равноконтрастных колориметрических системах относительно теоретических данных, была разработана программа в среде *MATLAB*.

Работоспособность колориметра с объектами сложной формы и неравномерного тона и насыщенности проверена на стразах (рисунок 2) и костных тканях (зубы) [7]. Светофильтры (СФ) также можно отнести к сложным объектам. Испытание прототипа цифрового колориметра производилось на основе стандартизированных СФ по ГОСТ 9411-91 из наборов цветных оптических стекол. В результате анализа было отобрано по 3 СФ для 7 групп цветов: синие, зелёно-синие, зелёные, жёлто-зелёные, жёлтые, оранжевые, красные. Таким образом, можно проследить насколько точно работает колориметр в той или иной области цвета.

Исследования проводились с известным источником излучения – светодиодом *TDS-P001L4* белый 6000–6500 К с углом распределения освещения 120°. Поэтому были определены эталонные значения координат цвета отобранных СФ. Для этого характеристики этих СФ были измерены на приборе СПЕКОЛ 210, сверены с кривыми в каталоге цветных оптических стекол, и найдены их координаты цвета относительно выбранного источника излучения в системе *CIEXYZ* 1931.

Алгоритм измерений на колориметре следующий:

1. Объект помещается на предметный столик.
2. В зависимости от сложной формы объекта выбирается один из способов освещения, чтобы добиться регистрации на камеру рабочей поверхности – однородной области без бликов. Для этого можно вращать столик.
3. Производится регистрация изображения объекта в выбранной позиции три раза: с набором СФ корректирующих спектральную характеристику монохромной камеры под красный канал, с набором СФ – под зеленый, с набором СФ – под синий.
4. Далее три снимка загружаются в разработанную программу.
5. В программе оператор выделяет рабочую область снимка.
6. По яркости рабочей области программно определяются координаты цвета и цветности, а также изменение цвета и цветности.

В проведенном исследовании СФ помещались на предметный столик таким образом, чтобы оптическая ось объектива проходила ровно по центру СФ. С помощью программы были найдены координаты цвета и цветности исследованных СФ при выбранном источнике излучения в системах *CIEXYZ* 1931, $u'v'$ 1974 и *CIELAB*, а также определено изменение цвета и цветности относительно теоретических значений выбранных СФ, найденных по формулам:

$$K' = \int_{\lambda=400nm}^{770nm} \phi(\lambda) S_K(\lambda) \tau_N(\lambda) d\lambda,$$

$$Z' = \int_{\lambda=400nm}^{770nm} \phi(\lambda) S_Z(\lambda) \tau_N(\lambda) d\lambda,$$

$$C' = \int_{\lambda=400nm}^{770nm} \phi(\lambda) S_C(\lambda) \tau_N(\lambda) d\lambda,$$

где $\phi(\lambda)$ – спектральная энергетическая плотность потока излучения; $S_K(\lambda)$, $S_C(\lambda)$, $S_Z(\lambda)$ – спектральные характеристики каналов основных цветов системы цветоделения; $\tau_N(\lambda)$ – спектральный коэффициент пропускания светофильтров.

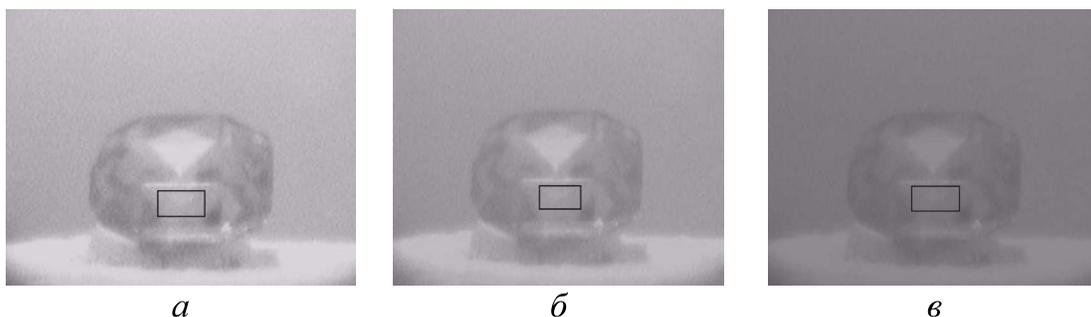


Рис. 2. Снимки объекта исследования с выделенной рабочей областью по каналам: *а* – К; *б* – З; *в* – С

Результаты

Определено, что изменение цветности в системе $u'v'$ 1974 составило в среднем 0,03 для 7 групп цветов. В системе *CIELAB* по формуле 1994 г. цветовое различие в среднем составило 9,77, по формулам 2000 г. – 7,81, по формулам 1976 г. – 17,64. Но так как последняя формула является линейным преобразованием, а сама система криволинейным преобразованием системы *CIEXYZ* 1931, то подобное значение можно не учитывать, что доказано в источнике [8].

Обсуждение. Полученные результаты можно сравнить со значениями, найденными при исследовании цветопередачи цифровой камеры, где условия съемки были аналогичными, только относительно источника типа А [9]. Цифровая фильтрация была отключена. Матричный фотоприемник камеры имеет цветоделительный шаблон по типу Байера, поэтому яркость снималась отдельно с каждого канала, а затем преобразовывалась в систему *CIEXYZ* 1931. Среднее арифметическое значение изменения цветности в системе $u'v'$ 1974 г. составило 0,072 (без настройки баланса белого) и 0,09 (при настройке баланса белого). Эти значения примерно в 3 раза превышают результаты, полученные на разработанном колориметре. При сравнении результатов с современным цифровым колориметром *3nh* (<https://3nh-color-gloss.ru/catalog/kolorimetr/nr20xe/>), производитель которого заявляет отклонение 0,08 ΔE^*ab (стандартное отклонение по 30 измерениям белого калибровочного эталона), подобный параметр относится только к определению белого цвета и не может объективно охарактеризовать цветовые отклонения по всему спектру данного прибора. Поэтому для разработанного колориметра на основе цветных оптических стекол с ограниченным номенклатурным перечнем полученный результат является удовлетворительным.

Выводы

Полученные результаты показывают конкурентоспособность разработанного цифрового колориметра. Для избавления от погрешностей в приборе необходимо внедрение характеристик разработанных систем цветоделения на интегральном уровне в виде тонких пленок, нанесенных поверх матричного фотоприемника либо

одиночных тонких светофильтров, что позволит сократить время работы прибора, а также вывести его на качественно новый уровень. Подобная модификация требует больших технологических затрат и объёмных исследований при разработке тонких пленок с заданными характеристиками. На основе проведенных исследований и разработок был получен патент на «Цифровой колориметр» №201116. В результате модификации получен патент на изобретение «Спектрофотоколориметр» № 2725002 С1. На основе оптимизации подана заявка № 2021125235/28(053198) на полезную модель «Цифровой колориметр для исследования разноцветных объектов». Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021667710 для разработанного колориметра. Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям.

Список литературы

1. *Zhbanova V.L.* Features of digital colorimetry application in modern scientific research // *Light & Engineering*. – 2021. – Т. 29. – № 3. – pp. 146-158. DOI:10.33383/2021-028.

2. *Zhbanova V.L.* Evaluation and selection of colour spaces for digital systems // *Light & Engineering*. – 2020. – Т. 28. – № 6. – pp. 86-94. DOI:10.33383/2020-024.

3. *Жбанова В.А., Денисова З.Ц.* Цифровой колориметр для исследования разноцветных объектов // *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*. – 2021. – № 4. – С. 147.

4. *Жбанова В.Л.* Система цветоделения с характеристиками близкими к XYZ МКО 1931 г. // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. – 2019. – Том 74. – № 1. – С. 167-180.

5. *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.

6. *Zhbanova V.L.* Development and research of digital photocolorimeter // *Journal of Optical Technology*. Vol. 87. Iss. 9. – 2020. pp. 521-526. DOI: 10.1364/JOT.87.000521.

7. *Жбанова В.Л., Жбанова В.А.* Исследование цвета зубов цифровым колориметром // *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*. – 2021. – № 4. – С. 168.

8. *Zhbanova V.L.* Research into methods for determining colour differences in the CIELAB uniform colour space // *Light & Engineering*. – 2020. – Т. 28. – № 3. – pp. 53-59. DOI: 10.33383/2019-005.

9. *Zhbanova V.L., Zhbanov I.L.* A method for analysing the color rendering of digital cameras // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. – 2021. – 21(3). – pp. 326–333. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-3-326-333.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ КООКСИАЛЬНОГО РАЗРЯДНОГО РТУТНОГО ИСТОЧНИКА УФ ИЗЛУЧЕНИЯ

*Железнов И.И., аспирант; Попов О.А. д.т.н., проф.,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В статье представлены предложенная авторами конструкция бактерицидного УФ облучателя (185–280 нм) для обеззараживания воздушно-водной среды и его основные параметры, проведено экспериментальное исследование излучательных, температурных и электрических параметров разработанного источника УФ излучения на основе коаксиального СВЧ разряда. В качестве источника СВЧ-излучения использован стандартный магнетрон от бытовой СВЧ-печи ($f=2.45$ ГГц; $P \approx 1$ кВт). Приведены результаты исследований параметров коаксиального СВЧ-разряда в ртутно-аргоновой смеси при воздушном ($T=23^\circ\text{C}$) и водяном охлаждении ($T=15^\circ\text{C}$) облучательной установки.

Ключевые слова: безэлектродный источник УФ излучения, коаксиальный СВЧ-разряд, ртутная плазма низкого давления.

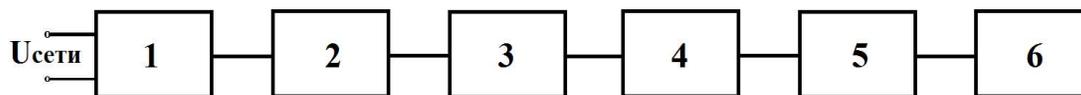
Цель работы - исследование безэлектродного источника УФ-излучения, разработанного авторами на основе коаксиального СВЧ ртутного разряда низкого давления.

Введение

К бактерицидным источникам УФ излучения (185-280 нм), работающим в установках обеззараживания воды и воздуха предъявляются жесткие эксплуатационные требования, в частности по увеличению срока службы. Это особенно актуально для установок, расположенных в труднодоступных местах, где нет возможности производить частую замену ламп. Решением данной проблемы может послужить применение безэлектродных источников УФ-излучения на основе микроволнового излучения (коаксиального СВЧ-разряда), отличающихся большим ресурсом по сравнению с традиционными электродными источниками [1, 2, 3].

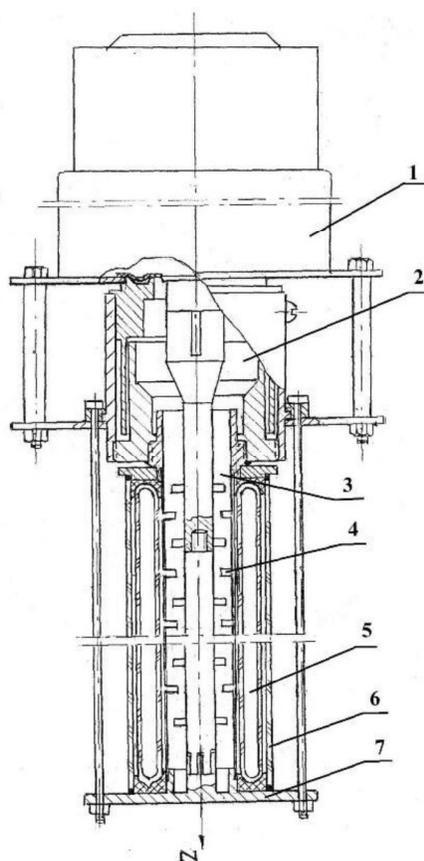
Авторами разработан экспериментальный образец бактерицидной облучательной установки с двумя безэлектродными лампами (длина каждой $l = 10$ см, диаметр $d = 4$ см) и СВЧ-резонатором в виде коаксиальной линии, внешний проводник которой содержит систему поперечных СВЧ-излучающих щелей.

Блок-схема и чертеж установки представлены на рис. 1 и 2. Фотография установки в рабочем положении приведена на рис. 3.



1 - Источник питания, 2 - СВЧ-генератор (магнетрон, 2,45 ГГц, 1 кВт),
3 - СВЧ-адаптер, 4 - СВЧ-тракт, 5 - СВЧ-возбудитель лампы, 6 - кварцевые лампы.

Рис. 1. Блок-схема экспериментальной облучательной установки УФ излучения на основе ртутного СВЧ разряда.



1 - магнетрон, 2 - коаксиальный СВЧ-адаптер-фильтр,
3 - коаксиальный СВЧ-возбудитель, 4 - щель связи, 5 - безэлектродные лампы,
6 - СВЧ- и УФ-прозрачный чехол, 7 - короткозамыкатель.

Рис. 2. Чертёж бактерицидной установки УФ излучения

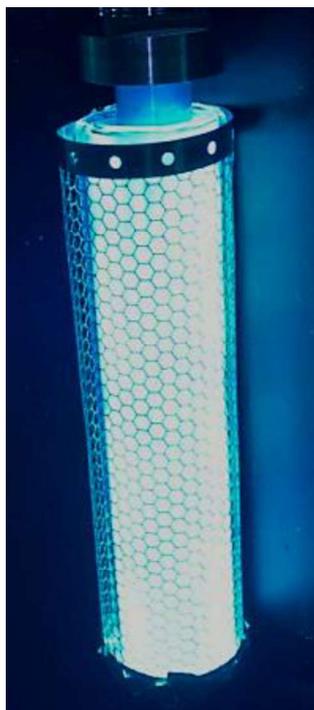


Рис. 3. Фотография установки для УФ излучения на основе ртутного СВЧ разряда в рабочем положении

Результаты измерений

Для измерения мощности УФ излучения безэлектродной лампы использовался метод, основанный на совместном использовании вакуумного монохроматора и методики Кайтца [4]. Погрешность метода не превысила 5,9 %. Для контроля генерируемой магнетроном мощности СВЧ-излучения был использован калориметрический метод, основанный на преобразовании энергии электромагнитных колебаний, поглощаемых согласованной нагрузкой, в тепловую энергию. Погрешность метода составила 3,1 %.

Таким образом, потребляемая установкой мощность от сети, $P_{эл}$, изменялась в интервале 380–1000 Вт, в то время, как измеряемая нами мощность потока УФ-излучения, $P_{УФ}$, варьировалась в пределах 6–87 Вт. При этом мощность СВЧ-излучения определялась в пределах 110–610 Вт.

Максимальный выход потока УФ излучения, $P_{УФ} = 87,2$ Вт, достигался при мощности, потребляемой от сети, $P_{эл} = 687$ Вт. Это значение мощности авторами принято за оптимальное, обеспечивающее наиболее эффективный рабочий режим облучательной УФ установки. Установлено, что максимальная бактерицидная эффективность СВЧ безэлектродных УФ-ламп и максимальная мощность УФ-излучения облучательной установки, работающей как на воздушном ($T=23^{\circ}\text{C}$), так и на водяном ($T=15^{\circ}\text{C}$) охлаждении достигается при давлении паров ртути 4–5 Па. Однако при водяном охлаждении установки, мощность потока УФ-излучения на 30 % выше.

На рис. 4 приведены зависимости КПД разработанной установки УФ излучения, охлаждаемой воздухом и водой, как функции потребляемой ею мощности, $P_{эл}$. Откуда следует, что в обоих случаях максимальный КПД генерации УФ излучения установки, $\eta_{уф} = 12,5 \%$, примерно одинаков. Однако, при водяном охлаждении диапазон мощностей, при которых он достигается, $P_{эл} = 490 - 720$ Вт, шире, чем при воздушном охлаждении, $P_{эл} = 490 - 550$ Вт.

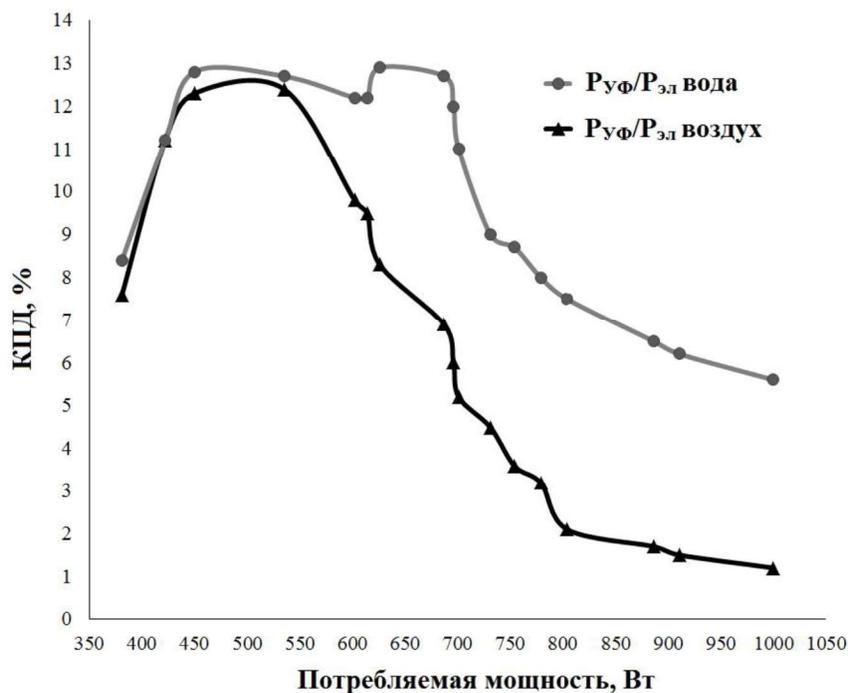


Рис. 4. Зависимость КПД облучательной установки УФ излучения, $\eta_{уф}$, от потребляемой установкой мощности, $P_{эл}$.

Обобщенные результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований параметров облучательной установки.

Тип охлаждения установки	Воздушное, $T=23^{\circ}\text{C}$	Водяное, $T=15^{\circ}\text{C}$
Давление ртутного столба (Па)	4–5	4–5
Температура холодной точки лампы ($^{\circ}\text{C}$)	190–200	50–70
Электрическая мощность (Вт)	490–550	490–720
Максимальная мощность УФ-излучения (Вт)	61	88
КПД установки (%)	12–13	12–13

Выводы

По результатам исследования, можно утверждать, что эффективность исследованного нами ртутного коаксиального СВЧ источника бактерицидного УФ излучения, находится на уровне таковых стандартных систем, использующих традиционные трубчатые электродные лампы мощностью 120–150 Вт. Для повышения КПД генерации УФ излучения рекомендуется снижение удельной мощности коаксиального СВЧ разряда и увеличение длины разрядных ламп. Полученные в работе результаты могут представить интерес для разработчиков СВЧ безэлектродных разрядных источников УФ излучения с высокой эффективностью преобразования микроволновой энергии в бактерицидное УФ излучение.

Список литературы

1. *Бархударов Э.М., Денисова Н.В., Косый И.А., Мисакян М.А.* // Физика плазмы. – 2009. – Т. 35. – № 7. – С. 611–618.
2. *Микаева С.А., Микаева А.С., Петренко Ю.П., Петренко Н.Ю., Комаров В.А.* Ультрафиолетовая СВЧ лампа // Патент на изобретение RU 2680821 С1, 27.02.2019. Заявка № 2018117490 от 11.05.2018.
3. *Шлифер Э.Д.* Некоторые особенности и проблемы создания осветительных и облучательных устройств на базе безэлектродных газоразрядных ламп с СВЧ – накачкой // Светотехника. – 1999. – № 1. – С.6–9.
4. *Zheleznov, I.I.* Study of Methods for Measuring the Optical Characteristics of Low Pressure Mercury Lamps // Proc. Conference CIE. 2021. pp. 634–640

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ ЯРКОСТЕЙ ПРИ ЦВЕТНОМ ОСВЕЩЕНИИ ЭКСТЕРЬЕРОВ

*Заржецкий В.Д., студент; Лебедева С.М. к.т.н., профессор,
НИУ «МЭИ» г. Москва*

Аннотация

В статье рассмотрена установка для исследования соотношения яркостей разных цветов, на экстерьере при его *RGB* подсветке, что поможет проектировщикам-светотехникам сократить время настройки осветительных установок с использованием цветных осветительных приборов.

Ключевые слова: архитектурное освещение, цветное освещение, соотношение яркостей, визуальная яркость.

Введение

На данный момент в профессиональной среде проектировщиков известна следующая проблема – нарушение гармонии выбранных цветов светодиодов при восприятии их на освещаемом фасаде. Она возникает при использовании приборов цветного освещения с одинаковыми характеристиками, такими как мощность/световой поток, но с разным спектральным составом, например, одновременное применение приборов красного, синего и зелёного цветов. Наблюдатель видит, что один из цветов преобладает по яркости над остальными, а другой ощущается слишком тусклым. В данной работе показано, что такая проблема есть, и предложен метод ее решения с помощью разработанной экспериментальной установки для нахождения коэффициентов, уравнивающих визуальные яркости нескольких цветов

Конструкция установки

Основным требованием к установке является то, что она должна позволять определять оптимальное соотношение визуальных яркостей на основе субъективной оценки для получения коэффициентов.

Для проведения эксперимента была сконструирована из картона модель двухарочного моста с объёмными деталями.

Таблица 1. Размеры моста

Длина, см	Высота, см	Толщина, см	Высота расположения модели, см	Расстояние до приборов, см	Высота до светового отверстия, см
183	44	1–4	132	150	60

Для освещения модели были использованы два прибора *GALAD* Аврора *LED-48 Ellipse PC*.

Расстояние между приборами – 45 см, также приборы разделены экраном, для предотвращения паразитных засветок и концентрации световых пучков от одного прибора на одной арке моста соответственно.

Для управления приборами используется ноутбук с программой *SOH light control* – универсальная программа, позволяющая напрямую управлять светильниками с ПК по протоколу *DMX-512*, использует полные 512 каналов и может работать как диммер между двумя сценами.

Подбор яркостей осуществляется на основе сравнения белого и цветного света, и цветного света между собой таким образом, чтобы визуальные яркости были равны для наблюдателя. Выбраны красный, зелёный и синий цвета, отвечающие теории трёхкомпонентности цветового зрения. Сравнение цветов проходит парами (левая арка – правая арка): Синий–Красный; Синий–Зелёный; Красный–Зелёный; Синий–Белый; Красный–Белый. Также было проведено сравнения трёх цветов – красного, синего и белого между собой, как цветов, формирующих флаг РФ. Данная комбинация чаще остальных используется в архитектурном цветном освещении в нашей стране.

Методика проведения эксперимента

Условия проведения: Чёрная комната; все наблюдатели примерно одного возраста 20–25 лет и не имеют проблем со зрением; У наблюдателя в поле зрения отсутствуют другие источники света; настройку стимулов проводит оператор; Расстояние от наблюдателя до предъявляемых стимулов – 5,5 метров; Расстояние от пола до глаз наблюдателя при этом примерно 110–120 см в зависимости от роста.

Методика. Оператор настраивает значение для основного цвета на контрольном поле установки (от 0 до 255 с шагом в 20). У наблюдателя есть две кнопки с помощью которых он может управлять прибором, освещающим изменяемое поле установки увеличивая или уменьшая поток прибора; Далее наблюдателю дается время, за которое он настраивает второй прибор таким образом, чтобы визуально оба поля воспринимались одинаковой яркости; Оператор записывает данные; Далее оператор настраивает следующее значение на контрольном поле и обнуляет значение на изменяемом, после чего эксперимент продолжается для следующих значений

Подбор яркостей осуществляется на основе сравнения пар цветов белого и цветного света. При использовании только цветного света устанавливалось равенство яркостей по зрительному восприятию между двумя цветами.

Результаты эксперимента

В проведении эксперимента приняли участие 8 человек.

Базовый цвет – цвет, настраиваемый оператором на контрольном поле установки

Подстраиваемый цвет – цвет, регулируемый наблюдателем

Подстраиваемый цвет = Базовый * коэффициент

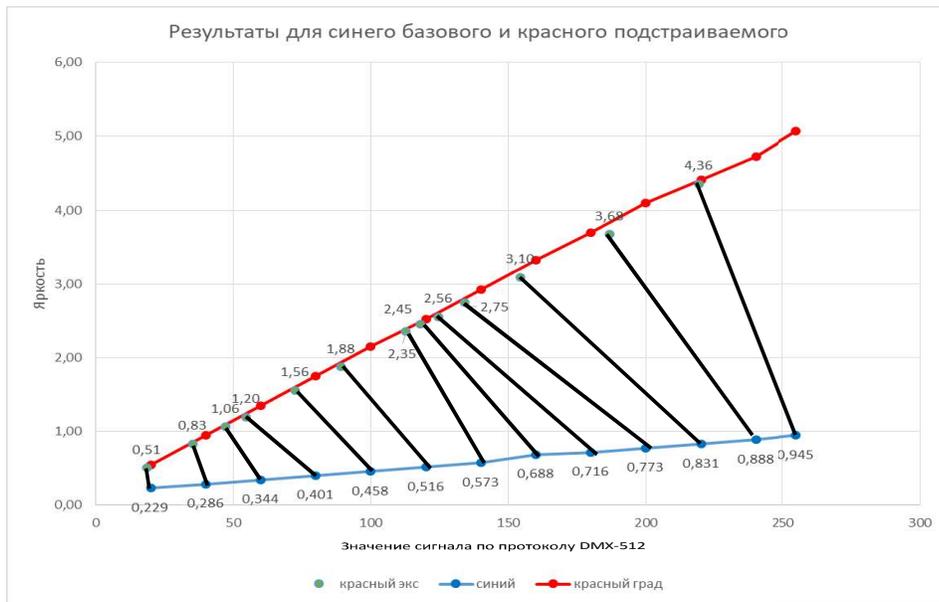


Рис. 1. Результаты для синего (базового) и красного (подстраиваемого)

Результаты представлены в виде графиков (рис. 1) Синим цветом показаны значения синего базового цвета. Он устанавливается оператором. Красным цветом обозначены значения для красного цвета, причём красными круглыми маркерами (красный градус) показаны градуировочные значения, т.е. значения яркости красного на тех же уровнях сигнала, что и выставленный синий цвет. Зелёными круглыми маркерами показаны значения визуальной яркости для красного, полученные в результате эксперимента и равные по яркости соответствующим значениям синего цвета. Для большей наглядности косыми линиями соединены значения цветов с одинаковой визуальной яркостью.

Таблица 2. Коэффициенты, характеризующие соотношения визуальных яркостей синего и красного цветов

Значение сигнала, ед.шкалы	Значения синего, кд/м ²	Коэффициент для синий (базовый), красный (подстраиваемый)	Значения красного, кд/м ²
20	0,229	2,21	0,51
40	0,286	2,91	0,83
60	0,344	3,08	1,06
80	0,401	2,98	1,20
100	0,458	3,40	1,56
120	0,516	3,64	1,88
140	0,573	4,11	2,35
160	0,688	3,57	2,45
180	0,716	3,57	2,56
200	0,773	3,55	2,75
220	0,831	3,73	3,10
240	0,888	4,14	3,68
255	0,945	4,61	4,36

Обсуждение

Экспериментальная установка позволила установить соотношение яркостей опорного цвета (синего) и подбираемого по яркости к нему – красного (табл. 2).

Таблица 3. Результаты двух экспериментов по нахождению значений красного и синего цветов с равными визуальными яркостями

Яркость синего, кд/м ²	Результаты эксперимента с моделью. Яркость красного, кд/м ²
0,344	1,06
0,458	1,56
0,573	2,35
0,716	2,56
0,831	3,10
0,945	4,36

Как можно видеть, все значения, определённые в первом эксперименте, точно попадают в зоны наибольшего количества ответов «яркости равны» второго эксперимента.

Выводы

Результат эксперимента показал, что действительно, для достижения гармоничного зрительного восприятия объектов при освещении разными цветами для каждого цвета необходим свой собственный уровень яркости, чтобы соответствовать остальным цветам, используемым в сценарии цветодинамического освещения.

Данная работа может быть развита в дальнейшем для получения подобных коэффициентов уравнивания с большей точностью и для большего количества цветов что поможет проектировщикам и дизайнерам уменьшить время затрачиваемое на повторение корректировок вносимых в сценарий освещения после первого запуска на объектах где они будут применяться.

Список литературы

1. *Бурова Т.Ю.* Архитектурное освещение, КГАСУ – 2018
2. Свод правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
3. *Айзенберг Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике, М: Знак, 2006
4. *Щепетков Н.И.* Световой дизайн города, 2006 журнал «Светотехника»
5. *Приходько А.Г.* Цветной свет на цветной поверхности. Эксперимент: глаз человека VS объектив фотоаппарата // *Architecture and Modern Information Technologies.* – 2018. – №3(44). – С. 308–322
6. *Будак В.П., Ильина Е.И.* «Построение психофизической шкалы визуального комфорта освещения на базе нейронной сети» // *Светотехника.* – 2021. – №2. –С. 30–36.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ДЛЯ СВЕТОСИГНАЛЬНОГО ЗАГРАДИТЕЛЬНОГО ОГНЯ

*Иванушкин А.М., магистрант; Горбунов А.А., к.т.н., доцент,
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск*

Аннотация

В данной статье представлен анализ нормативных документов в области проектирования светосигнальных осветительных приборов типа ЗОМ (заградительный огонь малой интенсивности).

Ключевые слова: воздушный транспорт, индекс цветопередачи, световой поток, сила света, светосигнальный заградительный огонь, степень защиты, цветовая температура.

Методы. В статье был проведён анализ литературы и нормативных документов в области светосигнальных осветительных приборов. Были выявлены основные нормированные характеристики, необходимые для проектирования светосигнального осветительного прибора типа ЗОМ, а также методы их измерения.

Введение

Для обозначения высотных объектов (препятствий) представляющих опасность передвижению воздушного транспорта, а также внутренней световой сигнализации должны использоваться светосигнальные осветительные приборы.

Светосигнальные осветительные приборы [3] отличаются своей конструкцией от обычных светильников. Основными отличиями являются более высокий класс защиты, а также способ изготовления стекла и деталей. Это позволяет использовать их в различных средах (влажных, пыльных и химически агрессивных).

На сегодняшний день существует множество различных модификаций светосигнальных светильников, все они отличаются различными параметрами [4].

Основной функцией светосигнальных осветительных приборов является оповещение и обеспечение безопасности. Однако для некоторых потребителей, дизайн является важным критерием при выборе светосигнальных светильников.

Нормирование светосигнальных осветительных приборов

Свод правил «Естественное и искусственное освещение» (СП–52.13330-2016) [7] представляет собой общегосударственный документ, которым руководствуются все, кто связан с разработкой и внедрением осветительных установок. Несколько иное положение имеется с нормированием количественных и качественных характеристик других разновидностей светотехнических установок. Для большинства из них имеются лишь так называемые отраслевые или ведомственные рекомендации и руководящие указания для проектировщиков.

По отраслевому принципу регламентируются и светосигнальные установки. В каждой отрасли народного хозяйства, где проектируются и создаются такие установки, имеются рекомендации по нормируемым характеристикам и их уровням. Сами же эти уровни берутся по данным специально организуемых исследований в лабораторных и натуральных условиях наблюдения. По этим исследованиям с привлечением работников отрасли, где создаются светосигнальные установки, находят уровни геометрических и светотехнических характеристик (воспринимаемых контрастов, освещённости на зрачке глаза наблюдателя и др.) на пределе видимости и различимости предъявляемых сигналов. Полученные таким образом данные соответствуют практическим порогам. Переход же к данным для расчётных значений этих уровней обычно осуществляется путем введения в полученные данные исследований коэффициента запаса. Вследствие удалённости объектов наблюдения в светосигнальных установках ограничиваются небольшим запасом пороговых уровней, диктуемым экономией расхода электроэнергии и практической целесообразностью. Основными нормативными документами в области нормирования светосигнальных осветительных установок являются Авиационные правила «Сертификация оборудования и воздушных трасс» [1] и «ГОСТ Р 59649-2021. Огни аэродромные светосигнальные на основе светодиодов. Методы измерений светотехнических характеристик»[3].

Основной эксплуатационной характеристикой [6] светосигнальных установок является дальность действия светового сигнала. Существенную роль при этом играют светотехнические характеристики светосигнального оборудования данной установки, состояние среды, через которую проходит излучение, несущее световой сигнал, и свойства, и состояние глаза (приёмника). Всё это приводит к необходимости нормирования (выбора уровня) следующих характеристик:

- цветовой температуры;
- ритма прерывности и времени предъявления сигнала глазу (приёмнику);
- оптических свойств среды — атмосферы, через которую проходит сигнал;
- формы и размеров сигнальных фигур (знаков) и уровня воспринимаемых контрастов между этими фигурами и их фоном;
- освещённости на зрачке глаза наблюдателя (приёмника) от сигнала.
- степень защиты. Для улицы требуется защита не менее *IP53*, однако для повышения ресурса работы рекомендуется *IP54...IP65*;
- цвет свечения: красный [5];

Примечание: Другие цвета (белый, зелёный) используются в прикладных задачах, например, на вертолётных площадках.

– сила света: нормированное значение не менее 10 кд [1].

Светотехнические измерения огня проводят в лабораторных условиях в помещении с неподвижным воздухом при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, атмосферном давлении от 84 до 107 кПа, относительной влажности от 45 % до 80 % и отсутствии дыма и пыли[3].

Для выполнения измерений распределения силы света огней, как правило, применяют гониофотометр.

В качестве базового принимают рабочее положение огня, при котором фотометрический центр огня совмещён с центром вращения фотометрической системы гониофотометра.

Измерение распределения силы света огня проводят в помещении, в котором стены и потолок имеют глубоко-матовое черное покрытие.

Результаты измерений для двунаправленных огней результаты представляют отдельно для каждого направления.

Результаты измерений представляют непосредственно на типовой диаграмме изокандел в виде выделенных определённым цветом уровней силы света, соответствующих значениям ограничивающих изокандел.

Переход от меридиональных и экваториальных углов измерительной установки к вертикальным и горизонтальным углам типовой диаграммы изокандел осуществляют по следующим формулам:

– для системы В: $Y = B$ и $X = \beta$;

– для системы С: $Y = \gamma - 90^\circ$ и $X = -C$, если $0 \leq C < 90^\circ$, или $X = 360^\circ - C$, если $270^\circ \leq C < 360^\circ$.

Измеренное светораспределение силы света огня соответствует нормативным требованиям, если значения силы света во всех узлах стандартной сетки, расположенных внутри или на границе зоны, ограниченной нормируемой изоканделой, не менее значения этой изоканделы.

Среднее значение силы света основного пучка, кд, определяют как среднее арифметическое значений силы света огня в узлах стандартной сетки, расположенных внутри и на границе основного пучка, по формуле:

$$I_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N I_i \quad (1)$$

где N – количество узлов сетки, попавших в границы основного пучка, I_i – сила света в i -м узле сетки основного пучка, кд.

Выводы

Светосигнальные осветительные приборы имеют своей целью создание световых сигналов, т.е. условных знаков и символов, посылаемых в пространство разнообразными светящимися точками, фигурами, а также их сочетаниями, и обеспечение их восприятия теми, для кого они предназначены.

Проведенный анализ станет основой для выполнения научных исследований в рамках магистерской диссертации по разработке макетного образца светосигнального осветительного прибора типа ЗОМ.

Список литературы

1. Авиационные правила Ч. 170. Т. И. Сертификация оборудования и воздушных трасс. М., 2015. С. 111–112. (Дата обращения: 27.06.2022)
2. *Айзенберг Ю.Б.* Справочная книга по светотехнике. – 2019. – С. 890. (Дата обращения: 30.06.2021)
3. ГОСТ Р 59649-2021. Огни аэродромные светосигнальные на основе светодиодов. Методы измерений светотехнических характеристик (Дата обращения: 29.08.2022)
4. Приборы световой сигнализации [Электронный ресурс]: Классификация светосигнальных приборов – Режим доступа: https://studopedia.su/15_192702_lektsiya-pribori-svetovoy-signalizatsii.html. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 3.07.2021)
5. Сайт компании Aerosignal [Электронный ресурс]: Заградительный огонь «ЗОМ-75Вт-АВ» >10cd, тип «А», 220V AC, IP65 - Режим доступа: https://aerosignal.ru/ru/produkcija/zagraditelnie_ogni/zom-75vt-av.html. - Загл. с экрана. (Дата обращения: 3.07.2021)
6. Сайт компании Studfile [Электронный ресурс]: Светосигнальные установки – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1731464>. – Загл. с экрана. (Дата обращения: 28.07.2021)
7. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. (Дата обращения: 6.07.2021)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ ПОРОГОВ НАБЛЮДАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

*Козлов Е.П., студент;
Григорьев А.А., д.т.н., профессор; Рыбина В.А., ассистент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В настоящее время цветовые пороги зрительной системы часто используются для количественной оценки соответствия цветности излучений источников света заданным параметрам, а также при сравнении их цветности между собой. В данной работе было проведено расчетное исследование цветовых порогов с помощью разработанной *MATLAB* программы.

Ключевые слова: эллипсы МакАдама, пороги цветоразличения, спектральная чувствительность L, M, S рецепторов

Введение

Американский ученый Дэвид МакАдам в 1942 году провел эксперимент по исследованию порогов цветоразличения [1]. Он выбрал 25 целевых точек, широко покрывающих цветовую диаграмму XYZ. Измерения проводились путем сравнения тестового и целевого цвета (рис.1). Наблюдатель через окуляр видел тестовое поле на равномерном фоне. Задача наблюдателя состояла в выравнивании цветности двух полей.

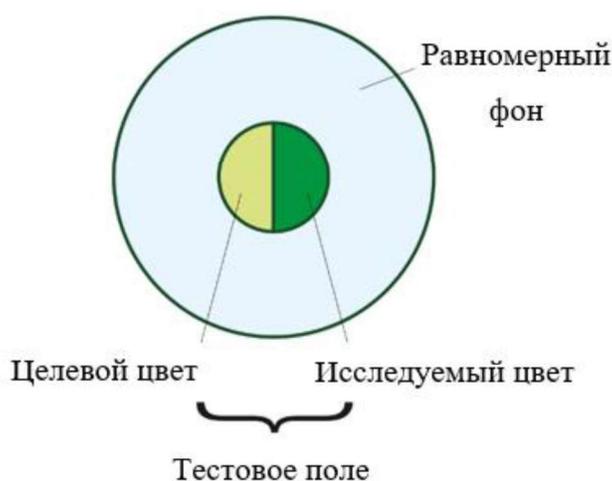


Рис.1. Вид из окуляра

После обработки результатов, МакАдам обнаружил, что цвета в пределах некоторой небольшой области на цветовой диаграмме воспринимаются человеком как один цвет. В ходе эксперимента ученый определил, что такие области имеют форму эллипсов, при этом размер и ориентация эллипсов на диаграмме широко варьировалась в зависимости от целевого цвета.

Поскольку данные эксперимента МакАдама были получены в основном на одном наблюдателе, а стимулы были высокой яркости, что не применимо во многих приложениях, есть ряд экспериментальных исследований, в которых проверялась достоверность пороговых эллипсов [2, 3]. Авторы предполагали следующие причины расхождений данных с эллипсами МакАдама:

- неопределенность результатов между наблюдателями;
- неопределенность в результатах одного наблюдателя;
- разные условия проведения эксперимента (расположение образцов, количество наблюдателей и т.д.).

Учитывая вышесказанное, было принято решение разработать программу проверки геометрических параметров эллипсов с использованием только монохроматических источников излучения.

2. Методы исследования

В разработанной программе моделировалось наблюдение объекта и фона различной цветности и одинаковой яркости. Работа с программой начинается с подготовки исходных данных, которые показаны на рис. 2.

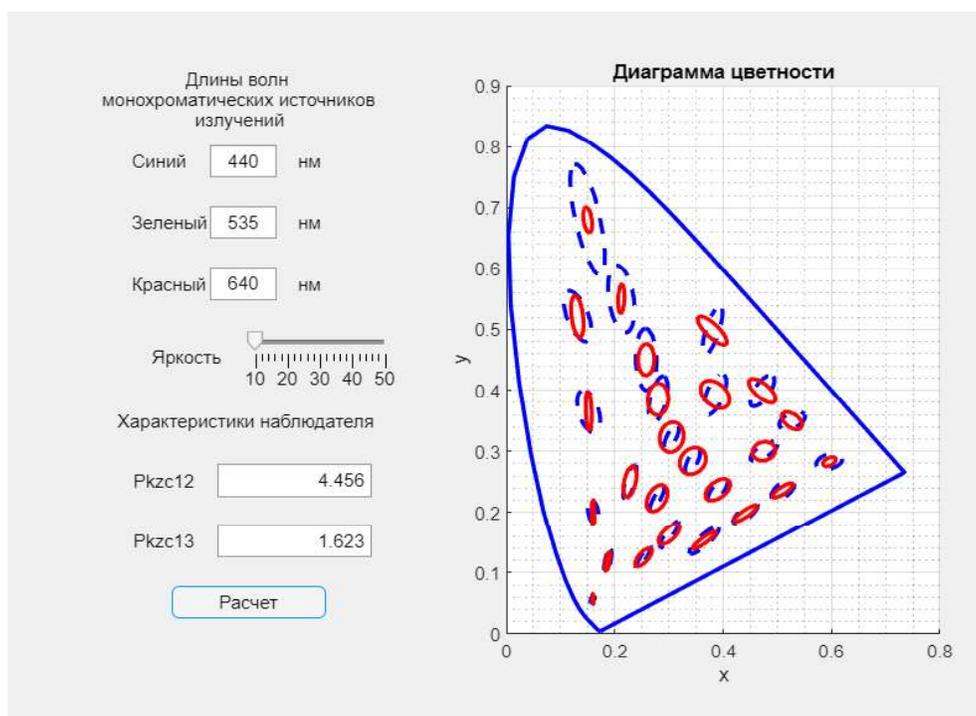


Рис. 2. Графический интерфейс пользователя

Нужная цветность и яркость излучения могут быть получены комбинацией энергетических яркостей трех монохроматических источников. Расчеты проводились для трёх разных «троек» источников. Пороговые зависимости для координат цвета рассчитывались в системе наблюдателя $(LMS)_{phys}$, с которой можно ознакомиться подробнее в статьях [4] и [5]. Кроме изменения спектрального состава излучения, программа позволяет загрузить характеристики разных наблюдателей.

Результаты

На рис. 3 представлены пороговые кривые, полученные при постоянстве яркости и с помощью системы $(LMS)_{phys}$ для разных монохроматических длин волн. Размеры полученных пороговых отличий на всех рисунках увеличены в 10 раз.

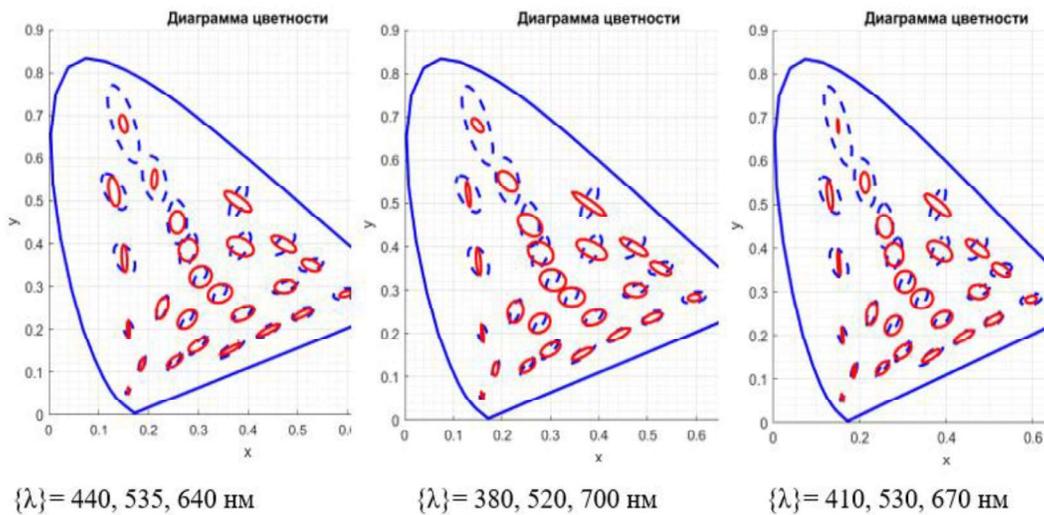


Рис. 3. Пороговые кривые, полученные при постоянном уровне яркости для разных длин волн источников

Можно заметить, что пороговые кривые (по форме близкие к эллипсам) зависят не только от координат цветности, но и от спектрального состава тех излучений, которые создают эти цветности. При этом с изменением спектра излучения изменяется не только размер эллипсов, но и их ориентация в цветовом пространстве.

На рис. 4 представлены пороговые кривые, полученные при постоянстве монохроматических длин волн, также с помощью системы $(LMS)_{phys}$, но при разных уровнях постоянной яркости для объекта и фона.

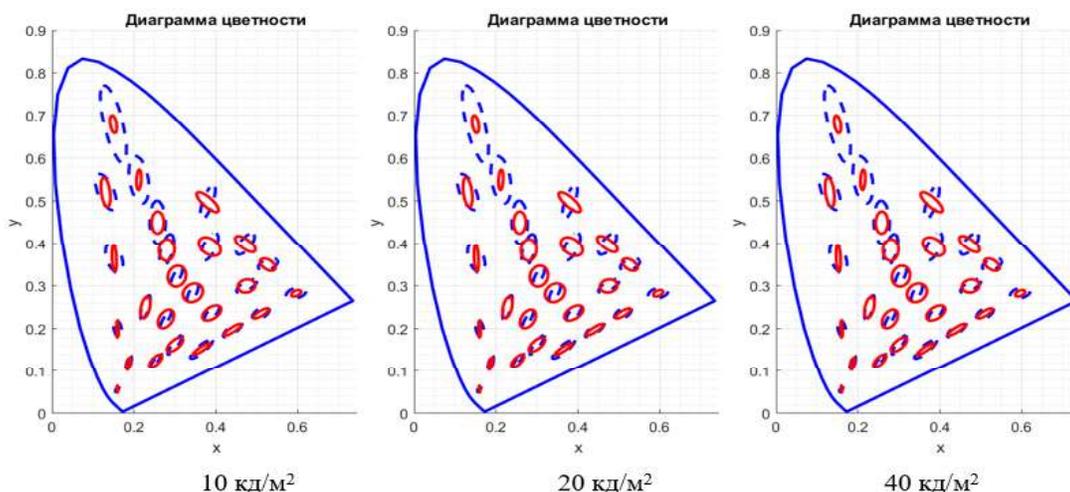


Рис.4. Пороговые кривые, полученные при постоянстве монохроматических длин волн (440, 535, 640 нм)

Как видно из графиков, зависимость цветowych порогов от выбранного уровня постоянной яркости слабая.

Выводы

Разработанная программа позволяет исследовать влияние нескольких параметров на цветowych пороги. Как и ожидалось, изменение уровня постоянной яркости объекта и фона проходит не заметно для пороговых кривых. Однако, спектральный состав источников, которые участвуют в создании заданной цветности объекта и фона, заметно меняет не только размер эллипсов, но и их ориентацию в цветowym пространстве.

Список литературы

1. MacAdam. D.L. Visual Sensitivities to Color Differences in Daylight // J. Opt. Soc. Am., 1942, Vol.32, pp.247-274.
2. Georgoula M., Cui G., Luo R. A revisit of the MacAdam colour discrimination ellipses // Proc. IS&T 24th Color and Imaging Conf., 2016.
3. Liang, J. et al. Verification of MacAdam Data // Proceedings of 13th AIC Congress, 2017.
4. Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Исследование монохроматических порогов цветowego зрения и определение удельных координат цвета трихромата. // Светотехника. 2022. № 2. С. 28-38.
5. Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Установка для экспериментальных исследований монохроматических порогов зрительной системы человека. // Светотехника. 2021. № 4. С. 5-11.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСВЕЩЕНИЯ СКУЛЬПТУР В ЗАЛАХ МУЗЕЯ

*Ли О.Д., студент; Лебедкова С.М., к.т.н., профессор,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Статья посвящена исследованию особенностей музейного освещения, в частности влиянию светотеневой картины на восприятие произведения. Был проведен эксперимент с моделированием различных вариантов освещения бюста с целью выявить наилучший. Полученные результаты были применены при моделировании освещения двух музейных залов.

Ключевые слова: моделирование, музей, скульптура, тенеобразование, светотеневая картина.

Введение

В музее свет выступает таким же важным элементом, как и архитектурно-пространственное решение. Грамотно спроектированная осветительная установка должна учитывать индивидуальные особенности и подчеркивать уникальность каждого произведения искусства, создавать комфортное для зрителей световое пространство. Скульптура не сильно восприимчива к свету, поэтому для её освещения можно использовать направленный свет. Картины, в отличие от скульптуры, более чувствительны к свету, и при их освещении необходимо контролировать не только зрительное качество подсветки, но и уровень освещённости. Можно сделать вывод, что именно свет определяет какое впечатление останется у зрителя от экспонатов музея. Если в музейном зале будут сильные блики или световые пятна на стенах, то такое освещение не будет обеспечивать высокий зрительный комфорт и оставит отрицательные эмоции. Обеспечение комфортного времяпровождения зрителей, качественного светового оформления залов и сохранности произведений искусства являются прямыми обязанностями светотехников [2, 5, 6].

Методы исследования

Эксперимент с моделированием освещения бюста был проведен в программе *DIALux EVO*. Были разработаны 8 различных вариантов освещения с использованием прожекторов с разной шириной светового пучка. Полученные варианты оценивались десятью наблюдателями с целью выявить оптимальное соотношение и распределение яркостей на поверхности скульптуры [3, 4, 5, 6].

Моделирование выставочных залов и расчёт качественных и количественных характеристик, нормируемые значения которых указаны в СП 52.13330.2016, производилось в программе *DIALux EVO*. В первом зале бюсты расположены на подиуме в центре, и используется ОУ

прямого света со светильниками, установленными на шинопроводе. Во втором зале для освещения скульптуры используется равномерно светящийся потолок [1].

Результаты и обсуждения

По результатам голосования наименьшие баллы получили варианты 6 и 8, наибольший балл получил вариант 2 (рис. 1). Тестовое расположение светильников показано на рис. 2.

6 вариант получился неудачным из-за сильной разницы в яркостях левой и правой части лица. У левой части высокая яркость, она сильно засвечена. В то же время правая часть имеет практически максимальный контраст и полностью находится в тени.

8 вариант получился неудачным, потому что почти все основные детали лица – лоб, щёки, нос, подбородок, пространства под носом и над бровями имеют очень схожие яркости, в следствие чего их яркостной контраст очень близок к 0. Такой контраст не позволяет подчеркнуть черты лица, в результате чего оно теряет свою выразительность.

2 вариант сочетает в себе тени от боковой подсветки как в 6 варианте с равномерной подсветкой всего лица как в 8 варианте. Благодаря этому достаточно равномерно подсвеченное лицо дополняется мягкими и резкими тенями, которые добавляют ему выразительности. Именно такой эффект по результатам опроса считается оптимальным.



Рис 1. Варианты 2, 6 и 8

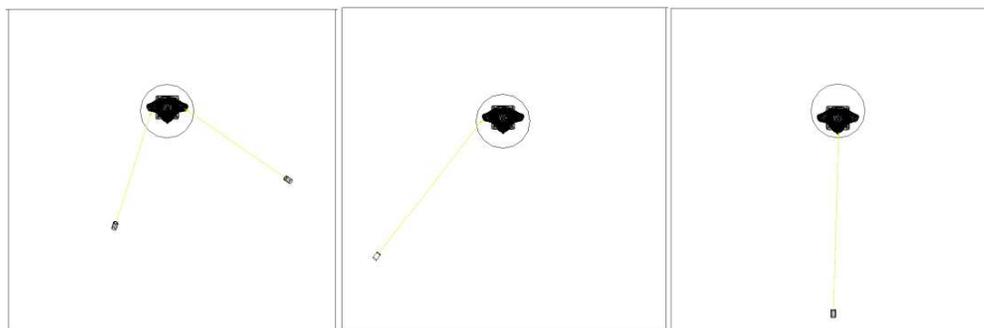


Рис 2. Расположение светильников вариантов 2, 6 и 8

На основе результатов эксперимента были смоделированы два выставочных зала.

Количественные характеристики освещения **первого зала**:

- средняя освещённость на горизонтальной поверхности на высоте 80 см – 357 лк (по СП 52 нормируется 300 лк);
- цилиндрическая освещённость – 121 лк (по СП 52 нормируется 100 лк);
- средняя освещённость на поверхности подиума – 600 лк, благодаря небольшому коэффициенту отражения, яркость подиума не превышает 10 кд/м²;
- цилиндрическая освещённость бюстов в среднем составляет 165 лк;
- освещённость на поверхности бюстов не превышает 600 лк (мрамор нечувствителен к воздействию света, поэтому ограничений по освещённости нет);
- освещённость на поверхности картин не превышает 230 лк (масляная живопись относится к малочувствительному классу по светостойкости, рекомендуется освещённость не более 250 лк);
- *UGR* не превышает 21,6 (по СП 52 нормируется 25).

Количественные характеристики освещения **второго зала**:

- средняя освещённость на горизонтальной поверхности на высоте 80 см – 338 лк (по СП 52 нормируется 300 лк);
- цилиндрическая освещённость – 151 лк (по СП 52 нормируется 100 лк);
- цилиндрическая освещённость бюстов в среднем составляет 206 лк;
- освещённость на поверхности скульптур не превышает 700 лк – 170 кд/м² (мрамор нечувствителен к воздействию света, поэтому ограничений по освещённости нет);
- освещённость на поверхности картин не превышает 320 лк (масляная живопись относится к малочувствительному классу по светостойкости, рекомендуется освещённость не более 200 лк);
- средняя яркость светящего потолка не превышает 320 кд/м² (для человека комфортными считаются световые потолки яркостью до 500 кд/м²).

Чтобы дать качественную оценку освещения залов стоит рассмотреть получившиеся светотеневые картины на скульптурах (рис. 3).



Рис 3. Визуализации скульптур в 1 и 2 залах

Бюст в первом зале имеет хорошо освещённый лоб, нос и плечи, заметные тени на глазах и щеках. При разработке освещения основой был вариант подсветки из эксперимента, получивший наилучший балл. То есть используется два прожектора: второй дополняет и смягчает тени создаваемые первым. Благодаря этому удалось достичь схожего с этим вариантом, а значит и хорошего распределения света и тени. Получившаяся светотеневая картина создает интересный образ и хорошо передает объём.

Яркость самых освещённых частей бюста в среднем около 120 кд/м^2 , яркость фона – около 10 кд/м^2 , что дает большой контраст (0,9) и обеспечивает хорошую различимость объекта и фона.

Скульптура во втором зале имеет хорошо освещённый лоб и торс. Заметные тени на щеках, глазах и шее. Освещение хорошо передает рельеф скульптуры, светом и тенью подчёркнуты складки и неровности одежды. Для освещения использовались 2 прожектора с узким световым пучком и 2 со средним световым пучком, расположенные по обе стороны от скульптуры. Они индивидуально настраивались, для обеспечения необходимой светотеневой картины. Яркость самых освещённых частей скульптуры – в среднем около 170 кд/м^2 , яркость фона (средняя по площадям, яркость потолка, который занимает треть поля зрения – около 300 кд/м^2 , стены и пол имеют в среднем 20 кд/м^2) – около 110 кд/м^2 , что

дает средний контраст (0,35), то есть объект и фон заметно отличаются по яркости.

Выводы

Наилучшее освещение получилось с использованием 2 прожекторов с глубокой КСС (56°), размещённых по обе стороны от бюста. Такое расположение создало равномерную подсветку лица и торса, дополненную мягкими и резкими тенями на глазах, щеках и шее, которые добавляют бюсту выразительность. Яркость лба, носа и подбородка – 15 кд/м^2 , на щеках переход от 12 до 6 кд/м^2 , на висках – 7 кд/м^2 , на ушах – 9 кд/м^2 , под носом – 4 кд/м^2 , на веках – 2 кд/м^2 .

Получившиеся количественные характеристики выставочных залов соответствуют нормам. Наиболее близкую к эксперименту светотеневую картину удалось получить в первом зале. Проведённый анализ станет основой для выполнения исследования в рамках магистерской диссертации по разработке оптимального освещения скульптуры.

Список литературы

1. Свод правил СП 52.13330. 2016 "Естественное и искусственное освещение"
2. Справочная книга по светотехнике, под ред. Ю.Б. Айзенберга, Г. В. Бооса. 4-е.изд. перераб. и доп. М.: 2019. – 892 с., ил.
3. Свет в фотосъемке, какой бывает и как используется. URL: <http://www.bodu9.ru/statii/foto/light-guide-which-can-be-used-and-how/>
4. Подсветка в портрете. URL: http://zaholstom.ru/?page_id=5065
5. В правильном свете: как освещают объекты в музеях и галереях? URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/8712-gallery-lightning>
6. Световое проектирование в музее. URL: <http://www.berlogos.ru/article/svetovoe-proektirovanie-v-muzee/>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ГОРНОЛЫЖНОГО СКЛОНА

*Лисовская О.О., студент; Романова Т.К., старший преподаватель,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Данная статья посвящается анализу нормативных показателей для проектирования горнолыжного освещения, а также моделированию двух осветительных установок для туристической горнолыжной трассы в средней полосе России при условии разного рельефа и нормируемой освещённости.

Ключевые слова: моделирование освещения, горнолыжное освещение, проектирование склона, осветительная установка.

Введение

В настоящее время горнолыжная география России достаточно обширна. Зоны катания разбросаны по всей стране от Калининграда до Камчатки и от Кольского полуострова до Северного Кавказа. К сожалению, большинство горнолыжных комплексов страны расположены на равнинной местности с небольшими перепадами высот, короткими трассами и отсутствием необходимой для привлечения людей инфраструктуры, вследствие чего туристы всё чаще уезжают кататься на горных лыжах в другие страны. При создании первоклассного курорта, способного конкурировать с предложением стран Альпийского региона, требуется учесть множество факторов и проработать полноценную инфраструктуру, включающую в себя наличие систем канатно-кресельных подъёмников, контрольно-спасательных служб, горнолыжных школ с опытными инструкторами, а также – главное – наличия разнообразных по уровню сложности трасс с качественным освещением. Именно вопрос правильного проектирования освещения на горнолыжном склоне рассмотрен в данной статье.

Методы исследования

Моделируемым объектом является трасса, предположительно входящая в состав низкогорной горнолыжной базы, предназначенной для массового катания туристов и лыжников-любителей. Подобные трассы имеют небольшую протяжённость и располагаются в холмистой местности с маленькими перепадами высот.

Первоначальной задачей процесса моделирования горнолыжного освещения является изучение различной литературы, связанной с данной темой, далее проводится анализ качества освещения на существующих склонах, и, в конечном итоге проектирование осветительной установки для заданного объекта и расчёт в наиболее подходящей программе – *DIALux 4.13*.

Проектирование горнолыжного освещения в *DIALux* происходит следующим образом: созданный профиль трассы используется в качестве подложки, по нему с помощью экструдера создается модель склона, далее задают выбранные коэффициенты отражения поверхности склона и эксплуатации, настраивают расчетные поверхности, и в конце происходит самый сложный этап – выбор оборудования, то есть осветительных приборов, высоты опор и нацеливание прожекторов.

При появлении особенных требований к освещению или исходя из рельефа местности, могут быть использованы разные подходы к моделированию освещения горнолыжной трассы, то есть разработаны уникальные осветительные установки.

Результаты

Основными нормами освещения для горнолыжного спорта и массового катания являются СП 440.1325800.2018 «Спортивные сооружения»[1], ВСН 1-73 «Нормы электрического освещения спортивных сооружений»[2] и европейские нормы *EN 12193 «Sports lighting»*[3]. В целом они делят освещение трасс на три класса со значениями средней горизонтальной освещённости 20, 30 и 100 лк. Для массового катания на местных и межрегиональных склонах норма составляет 30 лк.

Также в разнообразных источниках рассматриваются два основных коэффициента для расчёта. Коэффициент отражения поверхности склона выбирается на основании глубокого анализа исследований снежного покрова [7–10]. Для данного объекта он выбран равным 0,9. Коэффициент эксплуатации выбирается легче, так как является значением, прописанным в нормах. Он равняется 0,67.

После анализа качества освещения на существующих склонах собирается перечень выводов, опираясь на который можно приступить к непосредственному выбору осветительной установки для трассы. Например, в результате поездок по разным горнолыжным курортам было установлено, что на склонах Подмосковья прожектора в основном устанавливаются на складные опоры и, иногда, на опоры кресельных подъёмников, а также, что осветительные установки с разной цветовой температурой источников света на одном склоне приносят катающимся дискомфорт из-за сложности восприятия трассы как единого целого и дополнительной зрительной работы.

В ходе работы были созданы две осветительные установки, чтобы показать особенности подходов при разных ограничениях.

Первая осветительная установка разработана с требованием визуального выделения склона на местности, которое соответствует запросам престижных курортов.

Так как основным критерием является привлечение туристов, класс трассы повышается, следовательно, нормируется средняя горизонтальная освещённость 100 лк, отношение минимальной освещённости к средней 0,5 и показатель ослеплённости не более 50.

Установка двух прожекторов фирмы *SITECO – SiCompact 31 maxi* с асимметричной КСС на опоре верхнебоковая, высота опор – 10 м, кронштейна – 0,2 м. Шаг опор равномерный – 30 м.

Вторая осветительная установка предполагает сложности с установкой опор на склоне из-за формы рельефа, отличающейся наличием крутых скатов, провалов или холмов, что не позволяет, как в первом варианте, размещать опоры с равным шагом на близком расстоянии.

Так как запроса на увеличение освещённости нет, нормируется средняя горизонтальная освещённость 30 лк, отношение минимальной освещённости к максимальной 0,2 и показатель ослеплённости не более 50.

Шаг опор – 45–50 метров, высота опоры – 12 м, кронштейн – 0,2 м. Прожекторы *SITECO – SiCompact 31 midi*.

Из-за большого шага расположение прожекторов на опоре не верхнее-боковое, а боковое, но так как они с асимметричной КСС, всё равно являются наиболее комфортным вариантом.

В результате расчёта обеих осветительных установок в программе *DIALux 4.13* были получены значения, полностью удовлетворяющие нормам.

Для наглядности на рис. 1 представлена визуализация в фиктивных цветах для первой осветительной установки.

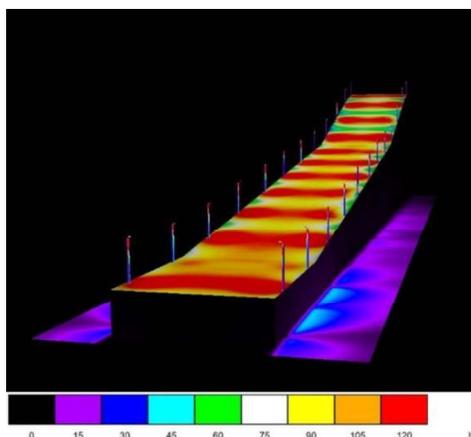


Рис.1. Визуализация в фиктивных цветах освещения первой ОУ

Обсуждение

Изученных литературных источников [4–6], а также информации, найденной в интернете, зачастую не хватает для полного понимания методики моделирования горнолыжного освещения и нюансов выбора осветительных приборов. При проектировании и выполнении многочисленных корректировок было определено, что самой подходящей КСС является асимметричная, которая дает плоский широкий луч с высокой интенсивностью силы света, который позволяет максимально залить площадь склона, а также, что лучше направлять,

взятые в работе прожектора не под углом 0 градусов (прямо под опору), а увеличить угол до 5–10 градусов, убирая таким образом излишнее отражение от снега, приносящее катающим зрительный дискомфорт, и увеличивая равномерность освещения.

Также при проектировании важно придерживаться нормируемых значений равномерности освещения и не стремиться к полному устранению теней, так как лыжникам хорошо должны быть видны холмики, ухабы или другие препятствия на склоне.

Выводы по работе

В работе была проанализирована различная литература, которая с разных сторон рассматривает вопрос горнолыжного освещения.

В результате расчета обеих осветительных установок в программе *DIALux* 4.13 были получены значения, полностью удовлетворяющие нормам:

– для престижного склона средняя горизонтальная освещённость равняется 115 лк, средняя равномерность 0,626, показатель ослеплённости меньше 43;

– для склона со сложным рельефом средняя горизонтальная освещённость 33 лк, средняя равномерность 0,338, показатель ослеплённости менее 49.

Список литературы

1. Свод правил СП 440.1325800.2018 «Спортивные сооружения».
2. Ведомственные строительные нормы ВСН I-73 «Нормы электрического освещения спортивных сооружений» .
3. EN 12193 «Sports lighting».
4. *Кригер В.Е.* Особенности освещения спортивных трасс для зимних видов спорта // Новая наука: современное состояние и перспективы развития. – 2021.–С. 37–40.
5. *Александров С.А.* Разработка методики ускоренного проектирования освещения горнолыжных трасс // Светотехника. – 2018. – №4. – С. 13–18.
6. *Александров С. А., Лебедкова С. М.* Анализ норм и программ компьютерного расчета освещения горнолыжных склонов // Вестник МЭИ. – 2012. – №3. – С. 117–124.
7. *Алексеев В.Р., Волков Н.В., Втюрин Б.И.* Гляциологический словарь. Гидрометеиздат, 1984 г.
8. *Дюнин А. К.* В царстве снега. Ленанд, 2021.
9. Directional luminous reflectances of objects and backgrounds under overcastskies by Jacqueline I. Gordon and Peggy V. Church. Visibility Laboratory Scripps Institution of Oceanography University of California.
10. *Масликова О. Я.* Экспериментального исследований интенсивности снеготаяния на лабораторной модели // Природообустройство. – 2016. – №1. – С. 28–33.

ДИЗАЙН-ПРОЕКТ ЗОНЫ ОТДЫХА В ОБЩЕЖИТИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

*Маслюков И.Е., студент; Онищенко А.К., студент;
Чешев Д.Л., студент; Коржнева Т.Г., к.т.н., доцент,
НИ ТПУ, г. Томск*

Аннотация

Проблема эмоционального и психического состояния студентов, в настоящее время, всё чаще обсуждается как на уровне студенческих обществ, так и на уровне управления университетами. Одним из способов поддержания стабильного состояния является комфортная среда проживания, которая учитывает как учебную активность студентов, так и их досуг. Таким образом, данный проект представляет собой разработку дизайна и освещения зоны отдыха для студентов, проживающих в общежитиях Национального Томского политехнического университета.

Ключевые слова: дизайн-проект, зона отдыха, студенческое пространство.

Введение

Эмоциональное состояние студентов – одна из проблем современного высшего образования [1]. При этом корни проблемы кроются в различных аспектах жизни студентов, начиная с трудности получения самого образования, и заканчивая бытовыми проблемами, с которыми студенты сталкиваются во время проживания в общежитиях. Известно, что образовательный процесс имеет наибольшую эффективность в том случае, когда для этого созданы максимально комфортные условия. И наоборот, если обучающийся будет находиться в неподходящих для образования условиях, эти условия и станут отправной точкой снижения качества знаний как при их трансляции от одного человека к другому, так и их усвоения. Именно поэтому многие передовые университеты обращают особое внимание не только на академическую успеваемость студентов, но и на их эмоциональное состояние в период обучения [2]. При этом стоит отметить особую роль вуза, которая заключается в обеспечении студентов необходимыми условиями. Однако, современный процесс обучения, а точнее, практически его половина происходит не в стенах учебных корпусов, а за их пределами. Это связано с колоссальным объёмом информации, которую необходимо найти и обработать, что часто может занимать от двух до двенадцати часов в сутки в зависимости от решаемой задачи. Следовательно, студенты чаще выбирают оставаться в общежитиях, а не идти в специально оборудованные места для учебы, объясняя свое решение сохранением времени и сил. Отсюда вытекает необходимость

либо улучшения жилищных условий студентов с учётом их образовательной деятельности, проводимой в комнатах, либо создания специальных помещений, учитывающих как учебную деятельность, так и досуговую. Создание подходящих условий в комнате может ограничиваться её размерами. Таким образом, зона отдыха является оптимальным решением с точки зрения организации учебного и досугового пространства.

Однако отдельная комната ещё не решает всей задачи. Одним из факторов, играющих ключевую роль в сохранении стабильного психоэмоционального состояния, здоровья и продуктивности людей, является освещение [3, 4]. Осветительное оборудование и решения для управления освещением могут использоваться в комбинации для доставки необходимого количества света в течение дня, и для целенаправленной доставки света на рабочую поверхность ночью, при этом учитывая такие факторы, как цветопередача, мерцание, блики, психологическое влияние и видимость [5, 6]. В то же время, освещение несет эстетическую функцию, помогает в формировании необходимого настроения и обстановки. Эти факторы легли в основу требований, предъявляемых в данной работе. Таким образом, целью работы является проектирование зоны отдыха внутри общежития с учетом потребностей студентов в комфортном, современном пространстве, где будут сочетаться возможность работы и отдыха.

Методы

Для определения необходимости реализации данного проекта на территории общежития был проведен опрос среди студентов НИ ТПУ. Для создания модели помещения, его обустройства и расчета освещённости был использован программный комплекс *DIALux evo*. В дизайн-проектах использовалось светотехническое оборудование компаний «Световые технологии» и «Арлайт ГРУПП».

Результаты и обсуждение

В ходе социологического опроса среди студентов, проживающих на территории кампуса НИ ТПУ выяснилось, что более 75 % опрошенных студентов ответили утвердительно на вопрос «Если бы в общежитиях ТПУ была *lounge*-зона (зона отдыха), пользовались бы вы ею?» Также студенты высказались, что конкретно хотели бы видеть в зоне отдыха. Результаты приведены на рис. 1. Оказалось, что основными запросами студентов являются наличие комфортного рабочего места, с возможностью выхода в интернет и проведением встреч. Также, студенты хотели бы видеть в комнате возможность отдохнуть, имея для этого удобную мягкую мебель, приятное освещение. Практически одинаковое распределение мнений говорит об одинаковой важности аспектов, предоставляемых проектируемой *lounge*-зоной, будь то рабочая или досуговая направленность деятельности студентов.

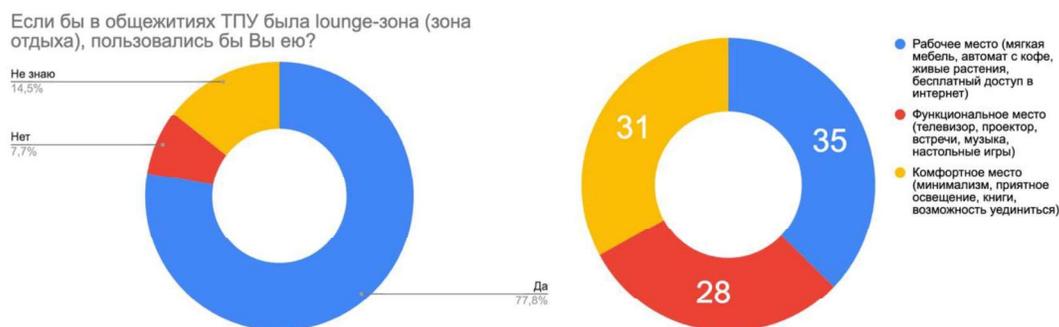


Рис. 1. Сводная диаграмма результатов на вопрос «Если бы в общежитиях ТПУ была lounge-зона (зона отдыха), пользовались бы Вы ею?» и количественное распределение основных пожеланий студентов к таким зонам.

За основу помещения было взято неиспользуемое помещение бывшего клуба общежития №13 по ул. Вершинина 39. Помещение площадью 73,2 м² имеет 2 дверных проема и 4 оконных проема. В работе нами были спроектированы и рассчитаны 3 варианта оформления зоны отдыха с учетом пожелания студентов. Для выполнения работы, а именно, построение трехмерной модели, расстановка мебели и элементов интерьера, расчёт освещённости, использовался программный комплекс *DIALux evo*. Варианты оформления, фиктивные цвета и используемые световые приборы (светодиодные линейные, точечные и подвесные) показаны на рис. 2–4.

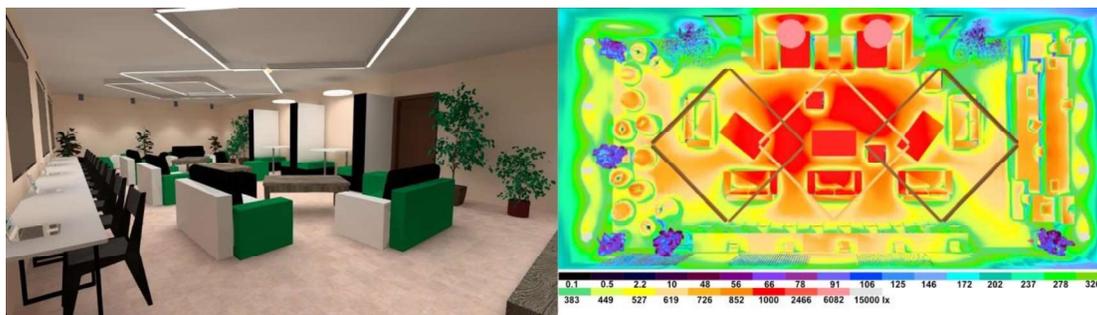


Рис. 2. Вариант дизайна зоны отдыха №1 с картой освещённости

Вариант представляет собой пространство с расставленной мягкой мебелью преимущественно в центре комнаты, тем самым образуя место для проведения встреч/бесед/досуга. Учебные зоны расположены около оконных проемов. Также имеются 2 отделённые зоны для уединения, образуемые перекрытиями. Помимо этого, в комнате находятся кресла-груши и деревянные трибуны. Световое оформление представлено, созданной линейными световыми приборами, геометрическими фигурами, подчеркивающими техническую сторону университета. Основная освещённость сконцентрирована в центре – основном месте сбора большими группами. Также имеются отдельные зоны для работы,

обособленные перекрытиями. Стоимость светотехнического решения составляет 587 530 руб., а энергоэффективность – 91,7 лм/Вт.



Рис. 3. Вариант дизайна зоны отдыха №2 с картой освещённости

Вариант №2 представляет собой пространство без отдельных зон с письменной доской, которая может быть использована для проведения занятий, подготовки к экзаменам или для творчества. Световые приборы расположены в виде волнистых линий для обеспечения равномерной освещённости в центре – основном рабочем месте. Более свободная планировка позволяет переставлять мебель по желанию студентов. Стоимость световых приборов составляет суммарно 552 055 руб., а энергоэффективность – 92 лм/Вт, что делает данный вариант наиболее выгодным.

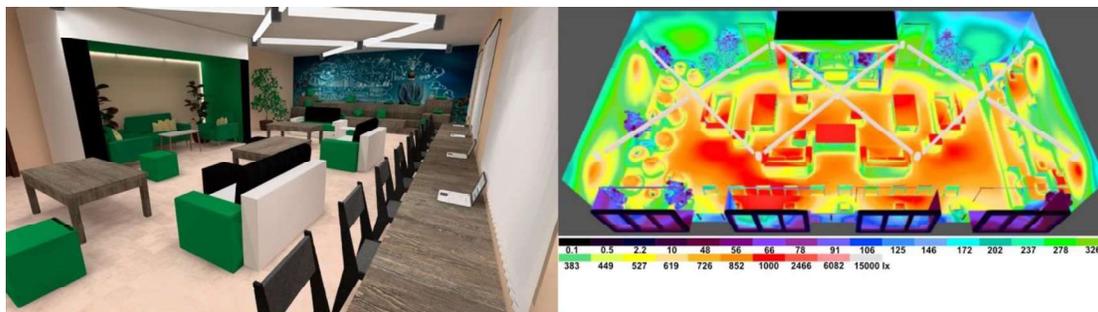


Рис. 4. Вариант дизайна зоны отдыха №3 с картой освещённости

Вариант №3 идейно похож на первый, за исключением отдельной зоны, сделанной специально для собраний больших групп. Контурная подсветка в отделенной зоне добавляет Световые приборы расположены в виде генома человека, что подчеркивает естественно-научную деятельность университета. Энергоэффективность данного решения составляет 89,8 лм/Вт, а стоимость световых приборов суммарно составляет 603 848 руб.

Все варианты, представленные в дизайн-проекте, имеют на левой стене от входа роспись, на правой – белую стену для проецирования изображений. Стена может использоваться для демонстрации слайдов или просмотра фильмов.

Выводы

В заключение, проект представляет собой разработку дизайна для зоны отдыха. В работе представлены 3 варианта оформления студенческого пространства с учётом создания комфортной учебной и досуговой зоны. Как видно из результатов, наиболее эффективным, с точки зрения затрат на закупку световых приборов и энергоэффективности оборудования, вариант №2 оказался наиболее успешным. Самым дорогим вариантом оказался вариант №3, ввиду использования более дорогих вариантов светового оборудования, а также наличия дополнительной контурной подсветки в отдельной зоне. Тем не менее, разница между стоимостью светового оборудования составляет около 50 000 руб., а разница между энергоэффективностью предоставленных решений менее 3 %, что позволяет судить об уместности к рассмотрению всех вариантов для дальнейшей реализации. Поскольку все варианты проектировались с учетом обеспечения достаточного уровня освещённости (более 500 люкс) на рабочих поверхностях, все варианты удовлетворяют стандартам, регламентированным в своде правил СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»

Данный дизайн-проект является частью студенческой инициативы, подготавливаемой к участию в площадке по улучшению кампусной среды, реализуемой в рамках проекта «Приоритет 2030»

Список литературы

1. *Гуревич П.С.* Актуальная психология // Психология и психотехника. 2013. № 8. С. 742-749.
2. *Березина Т.Н.* Эмоциональная безопасность образовательной среды и ее влияние на субъективное состояние здоровья у студентов // Alma mater (Вестник высшей школы). 2014. № 2. С. 36-40.
3. *Beyer KMM, Szabo A, Hoormann Stolley M.* Time spent outdoors, activity levels, and chronic disease among American adults. J Behav Med. (2018) 41:494–503. doi: 10.1007/s10865-018-9911-1
4. *Klepeis NE, Nelson WC, Ott WR, Robinson JP, Tsang AM, Switzer P, et al.* The national human activity pattern survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. J Expo Anal Environ Epidemiol. (2001) 11:231–52. doi: 10.1038/sj.jea.7500165
5. *DiLaura DL, Houser KW, Mistrick RG, Steffy GR editors.* The Lighting Handbook, Reference and Application. 10th ed. New York, NY: Illuminating Engineering Society 2011; 527-528.
6. Chartered Institution of Building Service Engineers. SLL Lighting Handbook. London: CIBSE 2018; 519.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ КОВОРКИНГА

*Молдыбаева К.Ж., студент; Лебедкова С.М., к.т.н., профессор,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В данной работе произведен анализ цветовой отделки помещения по эмоциональному настрою, анализ источников света и продукции производителей светового оборудования, анализ приемов освещения для зданий коворкинга; спроектировано комфортное освещение помещений по уровню освещённости и по качеству светоцветовой среды, разработаны две сцены освещения для каждого помещения. Произведен световой аудит по помещениям, подобным помещениям коворкинга, и предложены методы улучшения осветительной установки.

Ключевые слова: моделирование помещения, коворкинг, световые сцены, световой аудит, источники света, светодиодные источники света, проектирование освещения коворкинга.

Введение

Суть работы заключается в проектировании комфортного освещения различных по назначению помещений. Качество освещения проявляется в комфортности нахождения в помещениях: небольшого контраста по яркости, достаточной освещённости, отсутствия дискомфорта от световых приборов, небольшого коэффициента пульсации, достаточной насыщенности помещения светом. В современных коворкингах осуществлено типовое освещение без учета тонкостей, которые может предоставить светотехник, исходя из потребностей человека и типа работ в данном помещении.

Для реализации проектирования освещения смоделирована модель помещений в программе *DIALux evo*. В коворкинге рассматривались 4 основных помещения: общий зал, предназначенный для совместной работы людей разной деятельности, оборудованный мобильными столами и стульями; конференц-зал, предназначенный для переговоров и презентаций, оснащенный большим столом посередине помещения и проектором; художественная студия, используемая как комната для рисования и демонстрации работ; и комната отдыха, оборудованная мини-кухней и диваном.

Экспериментальная часть состояла из светового аудита помещений, подобным помещениям коворкинга, а именно – световой аудит компьютерного класса, подобного общему залу, и световой аудит коридора с постерами, подобного художественной студии по назначению демонстрации работ.

Методы исследования

Для проектирования комфортной среды помещений проведен анализ литературных данных по влиянию светоцветовой среды на

эмоциональный настрой посетителя. Учтена цветовая отделка каждого помещения: выбраны нейтральные цвета для рабочей атмосферы, зелёные для отдыха, красные для активности, жёлтые и оранжевые для творчества.

Проведен анализ источников света. Рассмотрены параметры ламп накаливания, газоразрядных ламп низкого и высокого давления, а также светодиодных источников света.

Рассмотрены каталоги производителей светового оборудования. Выявлены лучшие относительно подобных световых приборов производителей и использованы при моделировании освещения помещений коворкинга.

По результатам проектных работ проведен анализ приёмов освещения: приема акцентного освещения для картин и экспонатов, общего равномерного освещения для достаточного уровня освещённости на рабочей поверхности, приёма отраженного света для увеличения насыщенности помещения светом.

Моделирование объекта и расчет качественных и количественных показателей произведены в программе *DIALux evo*. Нормируемые показатели были взяты из свода правил СП 52.13330.2016 и ГОСТ Р ... – (ЕН 12464-1:2011), а также из рекомендаций по проектированию искусственного освещения музеев, картинных галерей и выставочных залов МКО.

При проведении светового аудита произведены измерения вертикальной, горизонтальной и цилиндрической освещённости помещений люксметром. Рассчитаны средние значения освещённости и сопоставлены с нормируемыми значениями. Проведен опрос по ощущениям от осветительной установки в помещениях. Предложены меры по улучшению качества светоцветовой среды.

Результаты

В общем зале спроектированы две сцены освещения. Выбраны нейтральные цвета интерьера, способствующие длительной работе. Первая сцена освещения – основная сцена рабочего освещения для зрительных работ с бумагами, ноутбуками и работой за столом. Применены приёмы равномерного освещения прямым светом и акцентного освещения стеллажа. Вторая сцена освещения – дополнительная, предназначенная для коммуникации в рабочем процессе: обсуждения проектов, создания заметок. Зрительными работами являются работа за столом и общение с коллегами. Применены приемы акцентного освещения столов, стеллажа и освещение стен.

Конференц-зал имеет две сцены освещения и спроектирован в бежевых, красных, персиковых цветах. Первая сцена освещения предназначена для ведения переговоров, спроектирована общим локализованным освещением над столом светильниками, имеющими КСС в нижней и верхней полуплоскости, а также произведено освещение стен. Зрительными задачами являются работа за столом и переговоры с

коллегами. Вторая сцена освещения спроектирована для просмотра проектора. Применен приём общего прямого освещения.

Художественная студия в бежевых, жёлтых и оранжевых цветах. Первая сцена освещения предназначена для написания картин. Применены приёмы акцентного и общего освещения. Вторая сцена – сцена экспозиционного освещения. Применено акцентное освещение картин и скульптуры.

Комната отдыха имеет зелёные цвета в интерьере. Присутствуют две сцены освещения: общая сцена освещения и сцена освещения для приёма пищи. В общей сцене освещения применен приём общего равномерного освещения. В сцене освещения для приема пищи применены приемы акцентного освещения и освещения стен.

Демонстрация результатов показана ниже только для помещения художественной студии (световая сцена написания картин).

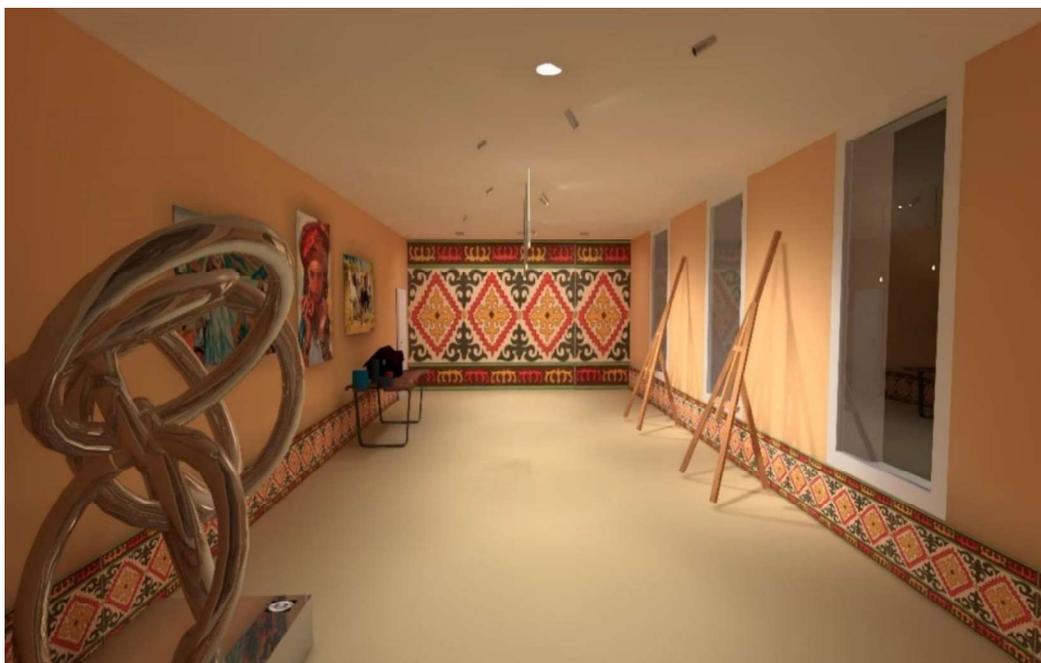


Рис. 1. Визуализация освещения художественной студии.

Таблица 1. Коэффициента отражения поверхностей стен, пола и потолка

Название помещения	Коэффициент отражения стен	Коэффициент отражения пола	Коэффициент отражения потолка
Художественная студия	50	40	80

Таблица 2. Результаты проектирования освещения помещений коворкинга

Рабочая поверхность	Освещённость на рабочей поверхности/ зоне непосредственного окружения/ периферии, лк	Равномерность освещения на рабочей поверхности/ зоне непосредственного окружения/ периферии
Мольберт	554/331/219	0,69/0,31/0,22
Скульптура	89,3/95,2/222	0,55/0,47/0,21
Картина 1	85,1/82,5/222	0,9/0,87/0,21
Картина 2	75,6/73,8/222	0,91/0,8/0,21
Картина 3	86,8/85,3/222	0,94/0,89/0,21
Стена 1	72,2	0,56
Стена 2	134	0,55
Стена 3	165	0,24
Стена 4	63,8	0,74
Потолок	76,7	0,53

По результатам светового аудита измеренные величины не соответствуют нормируемым. В компьютерном классе недостаток освещённости на столах, доске, полу и стенах. Также в нем присутствует неработающее оборудование. Для улучшения осветительной установки необходимо заменить неработающее оборудование и выбрать более мощные световые приборы. В коридоре с экспонатами отсутствует световой акцент. Необходимо его создать прожекторами. По результатам опроса выявлены негативные ощущения от световой среды помещений, что доказывает необходимость замены осветительной установки.

Обсуждение

При проектировании освещения количественные и качественные характеристики соответствуют нормируемым. Светильники выбраны усовершенствованные и актуальные, со светодиодными источниками света. Способы установки светильников: подвесные, напольные, встраиваемые в потолок, потолочные и светильники на шинопроводе. Измерены показатели дискомфорта в местах, где производится зрительная работа, а также в центре у торцевой стены помещения. Рассчитаны показатели цилиндрической освещённости в каждом помещении. Выбраны светильники с индексом цветопередачи ≥ 80 . На

рабочих поверхностях, зонах непосредственного окружения и на периферии измерены показатели средней освещённости.

Выводы

Для создания комфортной световой среды помещений коворкинга необходимо учитывать параметры используемых осветительных приборов, качественные характеристики освещения и цветовую отделку помещения. В данной работе рассмотрены различные приемы освещения и выбраны оптимальные для каждой зрительной задачи. Проведена работа с нормами освещения. Световые сцены спроектированы, основываясь на анализы влияния на психоэмоциональное состояние освещения, цветовой отделки, анализы производителей светильников, а также источников света. Освещение коворкинга включает в себя множество зрительных задач, разных назначений помещений. Для всех помещений подобраны светильники с необходимыми параметрами. В художественной студии учтена хорошая цветовая передача светильников, в общем зале и конференц-зале освещение спроектировано таким образом, чтобы не было зрительного дискомфорта. В комнате отдыха обеспечена концепция освещения для расслабления и трапезы. Светильники светодиодные, максимально усовершенствованные на данный момент. Концепции освещения современные и находящие за собой практическое применение. Используются различные приёмы освещения, учтены аспекты музейного освещения, освещения офисов, переговорных и комнат отдыха. По проведенному эксперименту можно сделать вывод, что в помещениях, подобным помещениям смоделированного коворкинга, необходима реконструкция осветительной установки. Освещение используется типовое, без учета аспектов разных зрительных задач.

Список литературы

1. Справочная книга по светотехнике / Под. Ред. Ю.Б. Айзенберга, Г.В. Бооса, 4-е изд. перераб. и доп. с. 422
2. Курс лекций Романовой Т.К. «Светотехнические установки».
3. licht.wissen 01. Lighting with Artificial Light.
4. Свод правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение"
5. ГОСТ Р ... – (ЕН 12464-1:2011) «Свет и освещение. Освещение рабочих мест.»
6. Рекомендации по проектированию искусственного освещения музеев, картинных галерей и выставочных залов МКО
7. «ERCO» каталог продукции и портфолио проектов
8. «iGuzzini» каталог продукции и портфолио проектов
9. «Linea Light» каталог продукции
10. «ZUMTOBEL» каталог продукции
11. «Световые технологии» каталог продукции
12. Влияние цвета на эффективность работы (improvement.ru)

ВЛИЯНИЕ ФОРМФАКТОРА НА СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП-РЕТРОФИТОВ

*Олейник И.А., студент; Нестёркина Н.П., ст. преподаватель,
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», г. Саранск;
Журавлёва Ю.А., к.т.н, доцент, РТУ МИРЭА, г. Москва*

Аннотация

В статье приведены результаты исследования влияния форм-фактора светодиодных ламп-ретрофитов на их светораспределение.

Ключевые слова: светодиодные лампы, форм-фактор, элемент конструкции, кривая силы света.

Введение

Современный рынок светодиодных (СД) источников света (ИС) характеризуется большим разнообразием торговых брендов и ассортиментом выпускаемой продукции. СД лампы-ретрофиты создаются, как правило, для использования в бытовых осветительных приборах [1]. В связи с этим большую важность приобретает вопрос зависимости пространственного светораспределения данных источников в зависимости от их конструктивных и геометрических параметров. Кривая силы света (КСС) влияет на уровень освещённости конкретной зоны помещения, а также находится в тесной взаимосвязи с яркостью светового пятна. Поэтому, исследование КСС современных СД ламп в настоящее время является актуальным аспектом при грамотной организации внутреннего бытового освещения.

Метод исследования

Для исследования были отобраны лампы различного конструктивного исполнения: шар *ASD 5W E27 4000K*, свеча *ASD 5W E27 4000K*, свеча на ветру *ECOLA 7W E27 4000K*, зеркальная рефлекторная лампа в колбе *R63 Gauss R63 4W 4100K* (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид исследуемых ламп

При исследовании светораспределения современных СД ламп-ретрофитов использовали метод прямого измерения освещённости с помощью угловых транспортов и фотоприёмника. В качестве приемника излучения использовали люксметр-пульсметр «ТКА-ПКМ (08)». Диапазон измерений освещённости – от 0 до 360°. Приёмник излучения располагали на расстоянии 50 см от источника света и перемещали по транспорту с помощью специальной каретки. Значение освещённости фиксировали через каждые 10 градусов, согласно разметке транспорта.

Предварительно было определено время стабилизации характеристик СД ламп-ретрофитов, которое составило 13 мин. Поэтому перед измерением освещённости каждая лампа отжигалась в течение не менее 15 мин.

Измерения проводили в помещении с неподвижным воздухом при температуре воздуха 23 °С, относительной влажности воздуха 78 % и атмосферном давлении до 100 кПа. Стены, пол и потолок помещения имели глубоко-матовое черное покрытие, было исключено влияние постороннего отраженного света от измерительного оборудования. Использовали тубус в качестве средства защиты от засветки отражающих поверхностей помещения.

С помощью закона Кеплера (закон квадратов расстояний) по формулам (1, 2) рассчитали значения силы света и построили соответствующие КСС для каждого исследуемого ИС:

$$E = \frac{I}{l^2} \cos\alpha , \quad (1)$$

где E – освещённость, лк;

I – сила света, кд;

l – расстояние до ИС;

$\cos\alpha$ – угол падения излучения относительно нормали к поверхности.

$$I = \frac{E \cdot l^2}{\cos\alpha} , \quad (2)$$

Результаты.

По результатам проведенных измерений и вычислений построили диаграммы светораспределения исследуемых СД ламп-ретрофитов (рис. 2).

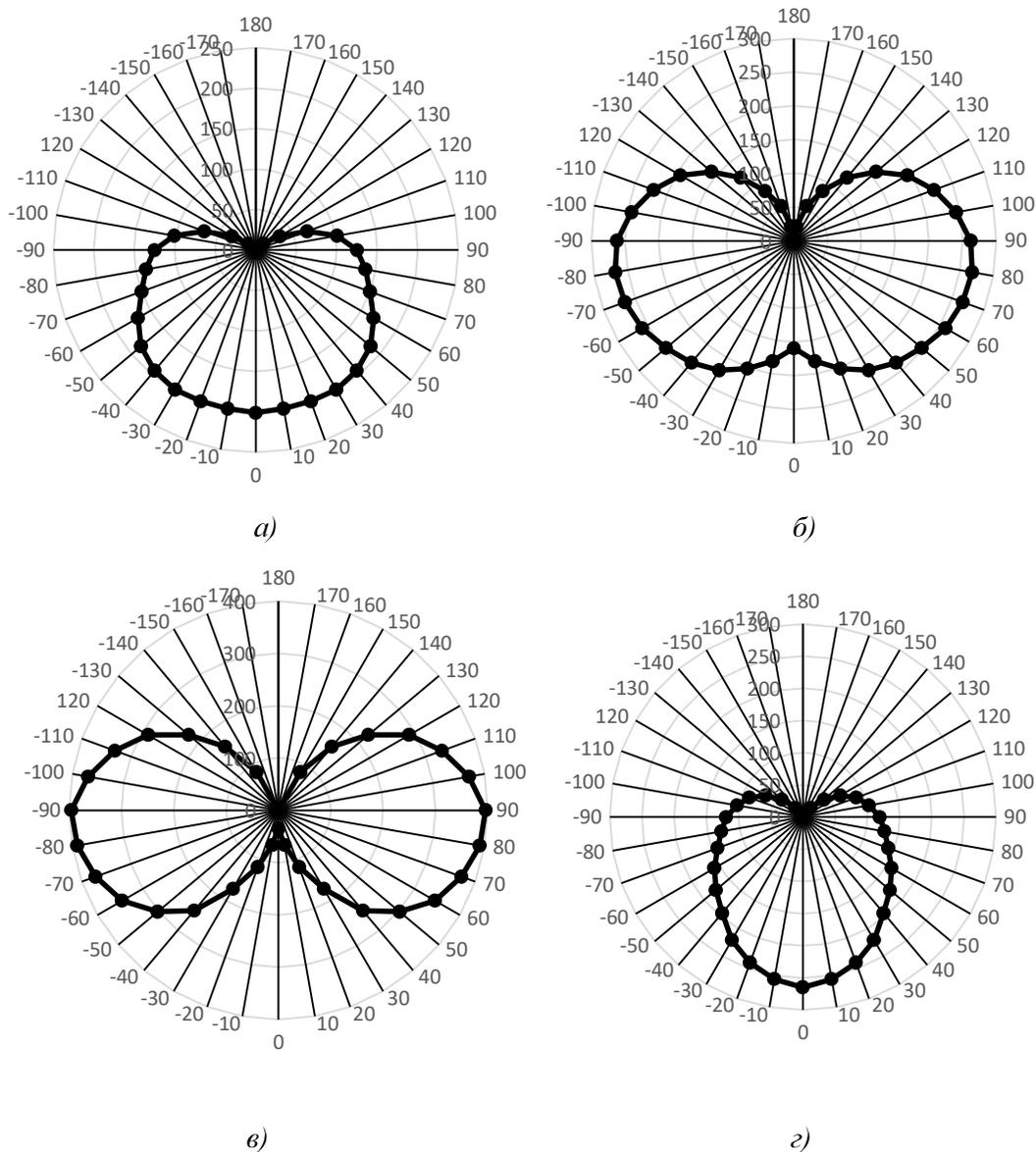


Рис. 2. КСС исследуемых светодиодных ламп: *a* – «ASD» (шар); *б* – «ASD» (свеча); *в* – «Ecola» (свеча на ветру); *г* – «Gauss» (рефлектор)

Обсуждение. Форм-фактор светодиодных ламп это совокупность параметров, определяющих размер, форму, геометрическое расположение и физические характеристики основных элементов конструкции ИС.

Особенностью форм-фактора светодиодных ламп-ретрофитов является их соответствие по форме, габаритам, типу цоколя традиционным ИС. В конструкции современной светодиодной лампы формообразующими элементами являются рассеиватель и корпус-радиатор. Цоколь как элемент конструкции не имеет прямого влияния на светотехнические параметры ламп.

КСС осветительных приборов в зависимости от формы КСС подразделяются на 7 типов [2]. СД лампы-ретрофиты предназначены для замены ламп накаливания, поэтому они должны иметь аналогичную КСС, что и определяется их форм-фактором.

Влияние форм-фактора лампы на ее светораспределение также отражено в работах [3, 4].

В результате исследования пространственного распределения силы света светодиодных ламп-ретрофитов получили следующее.

Лампа *ASD 5W* (шар) имеет косинусную КСС. В конструкции данной светодиодной лампы матовый рассеиватель выполнен в форме шара, поэтому косинусная КСС является вполне типичной для данного ИС. Максимальное значение силы света для данной лампы достигается в направлении оптической оси и составляет 200,93 кд. Зона возможных направлений максимальной силы света составляет 0 – 35 градусов, что соответствует справочным значениям [2].

По результатам измерений *ASD 5W* (свеча) имеет синусную КСС. Это обусловлено вытянутой эллипсообразной формой колбы. Из диаграммы следует, что сила света в направлении оконечной части колбы значительно снижается, поскольку именно в этой части светопропускание минимально. Максимальная сила света (268,4 кд) достигается в направлении 80°. Согласно справочным данным [2] зона возможных направлений максимальной силы света 70 – 90°, 110 – 90°, что подтверждено экспериментально (рисунок 2). Сила света в направлении оптической оси составила 159,1 кд.

Лампа фирмы *ECOLA* имеет довольно экзотичную форму рассеивателя. Оконечная часть рассеивателя сильно вытянута и изогнута так, что напоминает горящую на ветру свечу. Изогнутый наконечник несимметричен. КСС данной лампы – синусная, как и в случае с лампой *ASD 5W* (свеча). Наибольшее значение силы света для лампы *ECOLA* достигается в направлении 90° и составляет 395,98 кд. Однако в направлении оптической оси сила света минимальна и на практике составила около 35,5 кд. При горении данной лампы цоколем вниз световой поток в верхней полусфере будет также минимален.

Лампа фирмы *GAUSS* имеет косинусную КСС. Основная часть светового потока распределена в строго ограниченном направлении с углом рассеивания 120°. В отличие от предыдущих исследуемых образцов лампа *GAUSS* в качестве оптической системы имеет стеклянную колбу с зеркальным покрытием. Данное покрытие определяет характер светораспределения и угол, в котором сконцентрирована наибольшая часть светового потока и, как следствие, силы света. Максимальная сила света в направлении оптической оси равна 264,6 кд.

Выводы

По результатам исследования можно сделать выводы, что полученные изображения КСС соответствуют стандартным и не имеют

каких-либо нарушений симметрии и формы. Экспериментальные КСС свидетельствуют о приемлемой точности измерения углов с помощью угловых транспортиров, поскольку диаграммы светораспределения имеют форму близкую к изображениям, полученным при помощи автоматизированной гониофотометрической установки [3] для ИС сходных по форм-фактору.

Лампы с рассеивателем в виде свечи и свечи на ветру наиболее приемлемы для использования в декоративном освещении, а также для создания интерьерной подсветки и в винтажных интерьерах. Лампа с рассеивателем в форме шара может успешно эксплуатироваться в различных бытовых осветительных приборах: настольных лампах, торшерах, люстрах. Лампа-рефлектор может применяться в потолочных точечных светильниках, трековых светильниках, и встраиваемых настенных осветительных приборах.

В зависимости от типа КСС необходимо учитывать высоту подвеса и угол наклона, при которых предполагается эксплуатация данных ИС, поскольку будет изменяться яркость светового пятна и зона направлений максимальной силы света. Следует учитывать габаритные и конструктивные особенности самих осветительных приборов, так как форм-фактор источника света может препятствовать нормальной работе ОП. Грамотно подобранные ИС могут не только обеспечить требуемый уровень освещённости, но и позволяют эффективно осветить нужное место.

Список литературы

1. Бугров В. Е., Виноградова К. А. Оптоэлектроника светодиодов: учеб. пособие / В. Е. Бугров, К. А. Виноградова. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под. Ред. Ю.Б. Айзенберга, Г.В. Бооса. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Редакция журнала «Светотехника», 2019 – 892 с. ил.
3. Журавлева Ю. А., Коваленко О. Ю., Микаева С. А., Атишев А. В., Немов В. В. Исследование влияния форм-фактора светодиодных ламп для бытового освещения на их светотехнические характеристики // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2019. – № 6. – С. 24–27. [https:// DOI: 10.18635/2071-2219-2019-6-24-27](https://doi.org/10.18635/2071-2219-2019-6-24-27).
4. Нестеркина Н.П., Кондрашин А.С., Корсуков А.А. Сравнительные исследования характеристик светодиодных филаментных ламп, компактных люминесцентных ламп и ламп накаливания // EUROPEAN RESEARCH. – сборник статей победителей Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 23-31. Издательство: МЦНС «Наука и просвещение».

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПОРОГОВЫХ КОНТРАСТОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

*Омаров Э.Т., студент; Рыбина В.А., аспирант;
Григорьев А.А., д.т.н, проф., НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Рассмотрен алгоритм плавного (много меньше величины одной градации яркости серого) изменения средней яркости объекта на экране цифрового монитора, имеющего 256 градаций яркости серого.

Ключевые слова:

Пороговый контраст, погрешность измерений, пиксел изображения, градация изображения по яркости, экран монитора.

Введение

Актуальность работы обоснована необходимостью создания осветительных установок, которые позволяют человеку лучше решать задачи обнаружения и опознавания наблюдаемых объектов, что требует оптимизации методик исследования пороговых характеристик по обнаружению объектов. В настоящее время такая работа ведётся двумя основными методами – математическим моделированием и прямыми экспериментальными исследованиями. Экспериментальные исследования более трудоемки, но необходимы, т.к. нормировка параметров математических моделей всегда проводится сопоставлением расчетов по моделям с экспериментом. Аналоговые установки, создающие изображения, сложны в исполнении и громоздки. В них много элементов, влияющих на конечный результат и это увеличивает погрешность измерений [1]. Установки на базе персонального компьютера (ПК) более компактны и просты в исполнении, но также имеют ряд недостатков, связанных с характеристиками современных мониторов. **Основная погрешность** при выводе изображения на экран монитора возникает **из-за дискретного изменения яркости пикселов**. Специализированные мониторы с глубиной цвета 10 бит (1028 градаций серого) весьма дороги [2] и мало распространены, а для набора необходимой статистики нужно иметь возможность проводить измерения в разных местах на доступном оборудовании. Стандартная глубина цвета в современных мониторах, которыми оснащены дисплейные классы вузов и НИИ равна 8 бит, что соответствует 256 градациям серого [3], поэтому проблема уменьшения погрешности квантования яркости в 8 битных мониторах достаточно актуальна.

Метод исследования

Среди известных методов экспериментального определения порогов обнаружения объектов (метод средней ошибки, постоянных

стимулов, минимальных изменений) *метод минимальных изменений* наименее трудоемок [4], поэтому в работе оптимизируется именно он. При использовании этого метода экспериментатор последовательно увеличивает значения переменного стимула (объекта) до момента обнаружения и устанавливается порог на появление, а затем от значений, при которых объект хорошо виден, уменьшают его значения до исчезновения и устанавливается порог на исчезновение. Основная погрешность измерения пороговых значений определяется погрешностью определения яркости объекта и фона.

Экспериментальные исследования по определению пороговых контрастов $\left(K_n = \frac{L_{no} - L_{\phi}}{L_{\phi}} \right)$ были проведены многими авторами.

Наиболее полные результаты получены Блэкуэллом [5] (рис. 1).

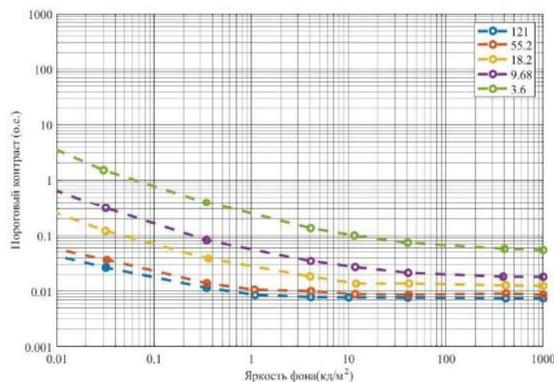


Рис. 1. Экспериментальные данные Блэкуэлла

Однако исследования Блэкуэлла проведены только для равномерного круглого тест-объекта на равномерном фоне. Для других объектов и фонов требуется проводить дополнительные исследования, что потребует создания новых установок.

Минимальное изменение контраста изображения в 8 битных мониторах $K = \frac{L_o - L_{\phi}}{L_{\phi}}$ составляет $\frac{1}{255}$ (0,0039) при максимальной

яркости фона и близка к 1 (100 %) при яркости фона в одну градацию. Согласно приведённым на рис. 1 данным, для яркости, большей 10 кд/м², величина K_n может быть меньше 0,007. В этом случае даже минимальная погрешность определения порогового значения контраста с помощью ПК превышает 40 %, что в большинстве случаев недопустимо.

Для уменьшения погрешности измерения контраста был разработан способ плавного изменения средней яркости изображения (фрагмент программы приведен на рис. 2) на величину, меньшую одной градации: объект сначала полностью засвечивается на целое значение градаций серого в яркости объекта dL_{int} (рис. 3а), затем часть пикселей, число которых пропорционально дробной части (в градациях)

яркости объекта (переменная dL_fract) случайно разбрасывается по закону равномерной плотности [6] (подпрограмма *randi*) по площади объекта. Значения яркости этих пикселей больше изменения яркости объекта или меньше (в зависимости от знака контраста) на одну градацию по сравнению с dL_int . Таким образом можно добиться значения средней яркости объекта, не равной целому числу градаций яркости. Это позволяет изменять среднюю яркость объекта на величину много меньшую яркости одной градации и, как следствие, более плавно изменять его контраст.

```
dL_int = fix(dL);
dL_fract = dL - dL_int;
Per = (1-abs(dL_fract))*100;
R = randi(100,n,n);
Obj = (R-1).*Object;
Obj(Obj < Per) = 0;
Obj(Obj >= Per) = 1;
Object(Object == 0) = L_fon;
Object(Object == 1) = L_fon+dL_int;
```

Рис. 2. Программная реализация плавного

Программа имеет несколько диалоговых окон. На первом этапе исследования произвольно меняя яркость объекта, можно найти приблизительное значение порогового контраста (Рис. 3а).

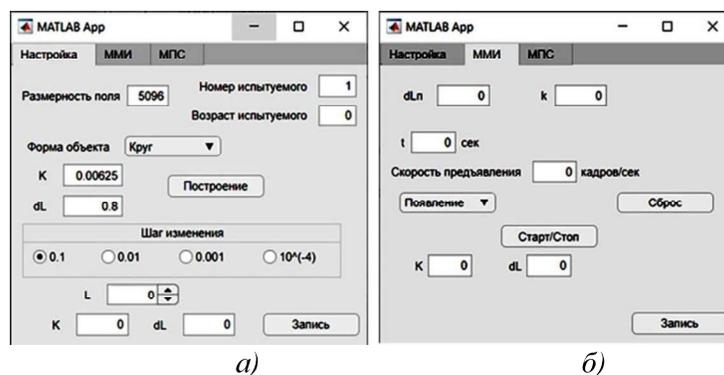


Рис. 3. Интерфейс программы для проведения исследования

Метод минимальных изменений реализован постоянным изменением яркости объекта с заданной скоростью (Рис. 3б).

Результаты экспериментальных исследований

Яркость экрана измерялась с помощью яркомера *LS-100* с приближающей линзой №135, обеспечивающей проведение измерений с расстояний 447-615 мм, выделяя в изображении круглые участки диаметром 5,2–8,7 мм. Яркомер *LS-100* имеет цифровой индикатор, регистрирующий четыре значащие цифры в измеренной яркости. На рис. 4 приведена измеренная зависимость яркости экрана от заданного в программе целого числа градаций серого.

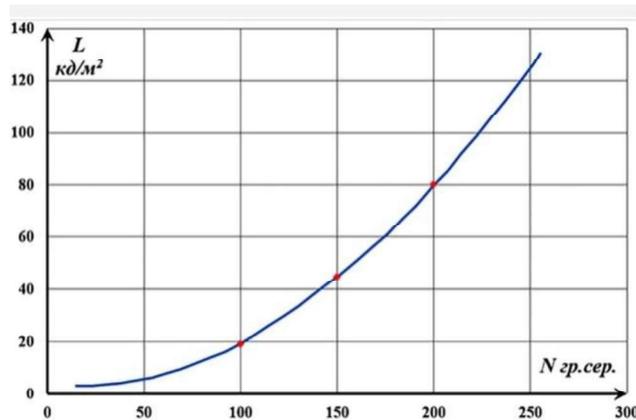


Рис. 4. Градуировка экрана монитора

Проверка значений средней яркости объекта при дробном значении градаций серого проводилась в трех точках (градации 100, 150 и 200). Измерения проводились в темной комнате, но из-за малого отличия в измеряемых яркостях и небольшой нестабильности яркости монитора пришлось проводить многократные измерения в выбранных точках.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты 100 измерений для трех точек с градациями яркости 100, 101 и 100,5.

Расчеты показали, что отличие экспериментально полученных и заданных в программе значений яркости при дробном значении числа ее градаций во всех трех точках не превышают 1%, что много меньше погрешности визуальных экспериментов.

Таблица 1. Результаты измерения яркости при числе градаций 100 ($L_{ср}=19,22$ кд/м²)

20,13	22,83	17,70	21,22	22,72	18,73	16,59	21,34	19,10	19,22
19,64	18,77	18,58	18,72	20,29	20,24	13,98	21,34	19,91	21,03
17,86	16,25	19,42	25,40	19,77	19,23	23,13	18,87	21,82	18,76
16,41	17,29	14,83	18,36	18,78	17,61	17,67	20,23	21,16	19,65
18,54	19,56	15,40	20,93	19,53	22,21	20,66	16,74	17,39	14,65
18,74	16,32	17,03	18,94	22,66	17,40	19,09	20,15	17,32	17,79
14,92	18,16	19,21	15,77	18,18	18,43	17,17	18,82	17,32	17,03
21,55	18,87	19,45	22,64	18,64	19,21	18,98	22,13	21,11	17,84
19,89	18,25	17,67	17,03	18,19	15,85	19,83	17,24	18,80	17,61
15,72	19,45	21,56	19,20	18,27	17,14	16,88	22,89	18,21	18,26

Результаты измерения яркости при числе градаций 101 ($L_{ср}=19,63$ кд/м²)

16,34	17,41	19,68	18,59	19,86	20,03	19,36	21,10	18,00	18,41
16,00	17,82	18,71	22,83	18,61	21,79	18,79	21,60	17,97	20,25
21,51	18,63	20,73	20,34	22,75	17,41	18,53	18,94	19,79	20,23
20,72	19,83	16,27	19,84	22,24	19,15	14,62	20,58	19,83	19,11
20,11	22,70	19,64	17,23	22,33	16,69	20,81	20,03	20,36	17,61
21,45	20,30	21,40	19,18	20,72	20,75	19,10	21,36	21,18	18,92
19,69	20,35	19,11	16,73	21,09	21,97	20,92	23,40	20,27	20,73
19,83	20,62	20,69	19,00	18,27	21,80	20,08	17,78	17,56	19,31
17,85	21,91	19,90	17,16	19,82	17,55	13,73	23,67	18,21	22,38
19,58	20,70	20,70	19,43	17,36	18,17	18,97	19,98	18,08	17,96

Результаты измерения яркости при числе градаций 101,5 ($L_{cp}=19,60$ кд/м²)

21,10	18,12	18,45	14,68	19,06	16,94	16,75	21,94	21,92	18,88
18,64	21,57	16,18	17,82	15,79	18,24	19,50	19,87	18,83	14,03
19,83	17,46	19,01	18,53	16,47	18,00	18,52	15,03	19,87	18,71
20,30	21,15	18,93	18,24	17,86	20,64	16,70	19,03	17,62	19,59
14,56	20,67	17,70	16,70	18,47	19,74	18,40	19,46	17,51	19,38
18,12	20,39	20,54	19,23	20,42	20,36	16,17	20,40	19,46	18,06
18,55	17,31	17,29	18,99	17,70	18,42	20,63	18,99	21,21	16,82
17,10	18,97	18,83	21,78	18,10	23,40	23,06	21,58	21,10	18,52
15,00	18,40	20,32	19,53	19,80	19,52	20,74	16,74	23,43	23,56
20,93	17,46	19,72	20,67	18,22	17,53	18,69	24,06	18,68	17,52

Обсуждение результатов и выводы по работе

Метод, изложенный в работе, является разновидностью методов, когда уменьшение пространственного разрешения дискретного устройства разменивается на увеличение его амплитудного разрешения. Подобный подход применим для объектов произвольной формы, но имеющих постоянную яркость в пределах контура объекта. Если для моделирования изменения средней яркости объекта работоспособность метода в работе доказана, то возможность его использования в экспериментах по измерению пороговых характеристик зрения требует дальнейшего исследования. Для этого необходимо провести сопоставление результатов экспериментальных исследований пороговых контрастов полученных на установке с использованием ПК с аналогичными контрастами полученными на установках, использующих аналоговый способ изменения контраста объекта с фоном.

Список литературы

1. Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Установка для экспериментальных исследований монохроматических порогов зрительной системы человека // Светотехника. - 2021. - № 4. - С. 5-11.
2. 27" Монитор BenQ SW271C, 3840x2160 https://market.yandex.ru/search?utm_source=yandex&utm_medium=search&utm_campaign=ymp_phrase_search_syb_rus&utm_content=0
3. Каталог дисплеев <https://www.panelook.com/>
4. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. ч.2. Физиологическая оптика и колориметрия. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.
5. Blackwell H. R. Contrast Thresholds of the Human Eye // Journal of the Optical Society of America. – 1946. – Vol. 36. – №11. – P 624–643.
6. Крамер Г. Методы математической статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

ИСТОЧНИК ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ РАЗВЕРТКИ КАДРА С ЗАДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Ровенская Т.С., к.т.н., доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва;

Белоусов Н.А., сотрудник МО РФ, г. Москва

Аннотация

На основе анализа выходных характеристик лабораторной установки для получения пространственно разнесенных монохроматических изображений кадра в рабочем диапазоне видимой области спектра установлены ее недостатки, связанные с исполнением источника излучения в виде матрицы светодиодов с объёмными резонаторами. В результате аналитического обзора различных типов современных источников излучения предложено альтернативное решение источника в виде матрицы лазерных температурно управляемых диодов с корпусами «*butterfly*». Показана универсальность предложенного источника для установок временной спектральной развертки кадра.

Ключевые слова: квазимонохроматическое излучение, *DMD*-матрица, светодиод с объёмным резонатором; лазерные диоды с температурным управлением.

Введение

Объёмные дисплеи представляют собой класс дисплеев, которые управляют *3D* (объёмными) элементами для получения композиционного объёмного полихроматического изображения способом, схожим с воспроизведением плоского проекционного изображения. *3D*-изображение может формироваться путем модуляции множества упорядоченно расположенных по глубине пространства плоских элементов (слоёв) изображения. В [1] описана экспериментальная установка, реализующая данный метод получения объёмного изображения объекта путем формирования за время развертки полихроматического кадра визуально воспринимаемых пространственно распределенных двухмерных спектральных изображений, обладающих требуемой разрешающей способностью в плоскости каждого из монохроматических изображений.

Схема установки представлена на рисунке 1 и содержит следующие основные функциональные узлы. 1 – источник излучения, который представляет собой матрицу из двадцати светодиодов с объёмными резонаторами, где каждый светодиод обеспечивает излучение определённой длины волны в рабочем спектральном диапазоне. Число светодиодов при выбранном рабочем диапазоне определяет среднее спектральное разрешение установки. Матрица

светодиодов создает временную последовательность спектральных оптических импульсов в рабочем диапазоне длин волн в течение времени развертки одного кадра объёмного изображения. Созданный светодиодом монохроматический оптический пучок масштабирующей оптической системой 2 расширяется до размера развертывающей кадр *DMD*-матрицы микрзеркал 4 проектора. 3 – плоское зеркало, обеспечивающее изменение направления оптической оси. Матрица 4 для каждого спектрального оптического импульса формирует двухмерное изображение, которое проекционным объективом 5 масштабируется под габаритный размер диффузора 6.

Для системы пространственной спектральной развертки изображения диффузор выступает в роли матричного объекта излучения, обладающего определённым разрешением в плоскости объекта и излучающим в выделенный момент времени излучение определенного спектрального состава и мощности в определённом пространственном угле излучения. Система объёмной развертки спектральных изображений образована двумя дифракционными линзами 7 и 8, которые в соответствии с их дисперсионными свойствами обеспечивают пространственное разнесение монохроматических плоских изображений 9 вдоль оптической оси. За время развертки кадра формируется его объёмное разложение по спектральным составляющим.

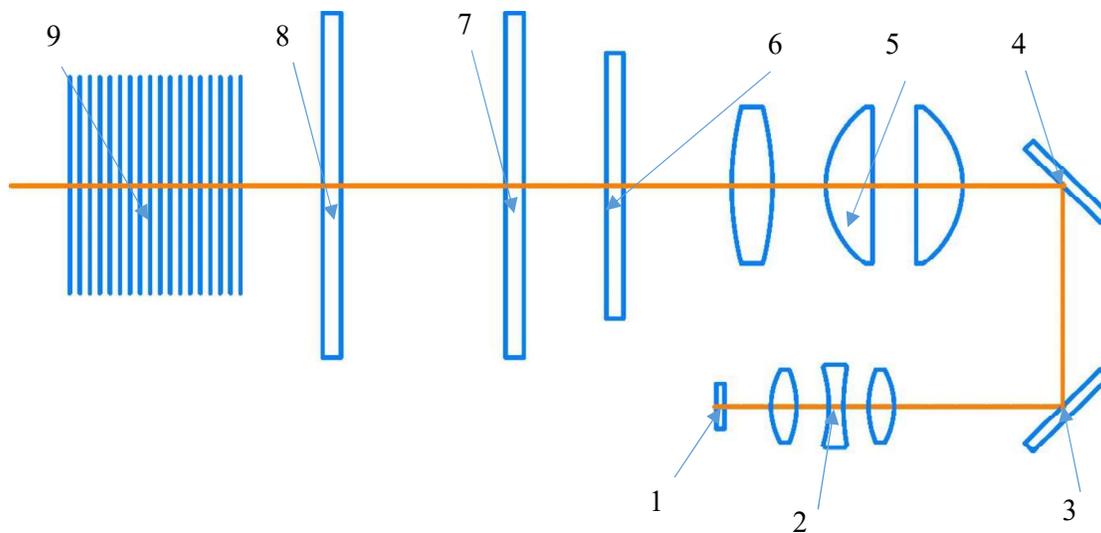


Рис. 1. Схема установки для пространственного спектрального разложения кадра

Установка обладает следующими техническими характеристиками [1]. Рабочий спектральный диапазон – часть видимого диапазона, определяющая цветность формируемого пространственного изображения, а именно [469,82; 538,68] нм. Среднее спектральное разрешение установки определяется числом длин волн, реализуемых источником в рабочем спектральном диапазоне, или числом разнесённых

по глубине пространства двумерных плоских монохроматических изображений. В данном случае при двадцати слоях это соответствует значению 3,443 нм. Время развертки монохроматического кадра при двадцати спектральных составляющих определяется частотой следования управляющих и оптических импульсов – 400 Гц. Время развёртки полихроматического кадра, формирующего объёмное изображение, соответствует 20 Гц. Мощность оптического излучения (при $\lambda = 479$ нм) – 10 мВт. Размер продольной развёртки – 13 мм.

Полученные с помощью описанной установки результаты экспериментов позволили считать перспективными базовую идею и способ получения объёмного изображения. Однако анализ технических характеристик установки определил необходимость их улучшения за счет: 1) расширения рабочего диапазона генерируемых длин волн излучения; 2) повышения мощности оптического излучения; 3) уменьшения габаритных размеров источника излучения; 4) увеличения спектральной чистоты (*FWHM*); 5) повышения быстродействия; 6) улучшения эксплуатационных и эргономических свойств. Достижение этих целей связано в первую очередь с изменением источника излучения.

Методика исследования

Выбранная методика исследования опирается на качественное сравнение соответствующих характеристик современных источников излучения и не является привычной для изучения характерных особенностей источников и приемников излучения.

Для обоснования выбора альтернативного решения для источника излучения, потенциально способного выполнять сформулированные задачи, были проанализированы принципы работы, устройство, конструктивные особенности, параметры и характеристики следующих источников излучения: светодиоды с объёмным резонатором (*RCLED*) (с улучшенными характеристиками) [2], наносекундные лазеры на красителях [3]; наносекундные параметрические генераторы [3]; лазерные диоды [4]; ксеноновые лампы и светофильтры [5].

Для этих источников была составлена сравнительная таблица характеристик источников с присвоением оценки «+/-/0», где «+» – максимально соответствует требованию, «0» – умеренно соответствует, «-» – совсем не соответствует. Причем данный способ оценки позволяет сжато и доступно излагать показатели, без уточнения конкретных числовых данных, которые даже для каждого из типов источников могут широко варьироваться. Источники сопоставлялись по следующим характеристикам: 1) диапазон генерируемых длин волн излучения; 2) мощность оптического излучения; 3) габаритные размеры; 4) спектральная чистота; 5) быстродействие; 6) простота конструкции; 7) энергосбережение; 8) простота эксплуатации.

Таблица 1. Качественное сравнение источников излучения по сопоставляемым характеристикам

№	Светодиоды с резонатором	Наносекундные лазеры на красителях	Наносекундные параметрические генераторы	Лазерные диоды	Ксеноновые лампы
1	0	0	0	+	+
2	–	+	+	+	+
3	+	–	–	+	–
4	–	0	+	+	–
5	+	0	+	+	–
6	–	+	+	0	–
7	+	–	–	+	–
8	+	–	–	+	+

Результаты и обсуждение

Анализ таблицы наглядно показывает, что из рассмотренных источников излучения наиболее перспективными могут быть признаны лазерные диоды. В отличие от оптических параметрических генераторов и лазеров на красителях лазерные диоды обладают малыми габаритами и невысокой ценой. В них возможно получение излучения требуемой длины волны без использования дополнительных механических устройств, что делает конструкцию более надежной и износостойкой.

С учётом рабочего спектрального диапазона, индикатрисы излучения, напряжения или силы тока, оптической мощности излучения и рабочего диапазона температур были выбраны лазерные диоды производства *THORLABS*. Эта линейка компонентов позволяет выбрать устройства, излучающие во всем видимом диапазоне, т.е. от 400 нм до 700 нм. Рабочий спектральный диапазон у лазерного диода составляет $\Delta\lambda=10$ нм (в некоторых случаях 20 нм), а излучаемая длина волны зависит от температуры диода. Для получения 20 различных длин волн в диапазоне от 400 до 700 нм необходимо иметь как минимум 5 различных элементов с температурной зависимостью и четыре значения температур. В качестве таких диодов выбраны *L404P400M*, *L450P1600MM*, *L520G1*, *HL63163DG*, *HL63163DG*, *HL6545MG* с рабочими температурами 10 °С, 25 °С, 40 °С и 55 °С, с излучением мощностью от 100 мВт до 1600 мВт в рабочем спектральном диапазоне от 400 нм до 663 нм. Для осуществления контролирующих функций и температурного управления длиной волны излучения рассмотрены возможные варианты корпусов для ЛД и выбран корпус типа «*butterfly*» [5]. Этот корпус является самым распространенным для лазерных диодов с мощностями от 10 мВт до 800 мВт и более. Он состоит из лазерного диода, встроенного термоэлектрического охладителя Пельтье (ТЕМ), термистора и фотоэлектрического отслеживающего устройства [7]. Для реализации

источника и установки необходимо иметь 20 драйверов ЛД, которые должны обеспечивать рабочую температуру от 10 до 55 °С, ток инжекции до 1200 мА и быстродействие от 300 до 9000 пс. Также в драйвере необходимо предусмотреть выходы для соединения с управляющим элементом *DMD*-матрицы. Этим интерфейсом может быть интерфейс *USB 3.0*, а вся связка «драйверы-матрица» может управляться через ПК, который обладает функцией высокоскоростной передачи управляющих синхронизирующих сигналов.

Выводы

Таким образом, на основе изучения различных типов источников излучения предложено решение для источника в установки, реализующие спектральную временную пространственную развертку полихроматического кадра. Источник определен в варианте матрицы температурно управляемых лазерных диодов с корпусами типа «*butterfly*». Источник такого варианта решения обеспечивает расширение рабочего спектрального диапазона до видимого диапазона длин волн, повышение мощности излучения и обладает потенциальной возможностью управления спектральным разрешением установки. Конструктивно важным преимуществом лазерных диодов является также возможность вывода излучения в оптоволокно, что обеспечивает удобство согласования источника излучения с другими оптическими узлами проекционной пространственной установки.

Список литературы

1. *Blackwell C.* Volumetric 3D display in real space using a diffractive lens, fast projector, and polychromatic light source // *Optics Letters*, Vol. 44, No. 19, 2019 г., С. 4901-4904.
2. *Baets R.G., Delbeke D.* Resonant-Cavity Light-Emitting Diodes: a review // *Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications VII*, Proceedings of SPIE Vol. 4996, 2003 г., С. 74-86.
3. *Феру Ф., Мак-Крамб Л.* Техника перестройки лазеров: генерирование волн от ультрафиолета до инфракрасного света // *Фотоника* 3, 2007 г., С. 34-40.
4. *Андриевский А., Андриевский В.Ф.* Лазерные диодные модули: ввод излучения в волокно и фиксация деталей модулей // *Фотоника* №3 /63, 2017 г., С. 74-79.
5. *Сысоева С.* Применение светоизлучающих и лазерных диодов в мобильных проекторах и сканерах // *Полупроводниковая светотехника* №6, 2012 г., С. 42-50.
6. *Ветров А.А., Данилов Д.А.* Сравнение температурных и электрических методов управления длиной волны излучения полупроводниковых лазеров // *Оптический журнал*, №76, 2009 г., С. 90-96.
7. *Верховцев А.Л.* OEM-драйвер для питания лазерных диодов в корпусе «*butterfly*» // *Фотоника* №1/61, 2017 г., С. 76-80.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ХРОМАТИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

*Серикова В.С., студент; Григорьев А.А., д.т.н., профессор;
Рыбина В.А., ассистент, НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Одним из актуальных предложений, обсуждаемых в техническом комитете МКО 1–98, было создание с нуля физиологической модели цветового восприятия *SAM*, которая была бы основана на входных данных спектральной чувствительности *LMS* рецепторов глаза. В существующих *SAM* моделях физиологический смысл вкладывается в этап преобразования хроматической адаптации. В данной работе было проведено расчетное исследование результатов этого этапа.

Ключевые слова: *CAT*, *SAM*, хроматическая адаптация, матрица преобразования.

Введение

Одним из важнейших свойств зрительной системы человека является хроматическая адаптация — процесс независимой (в значительной мере) регулировки чувствительности механизмов цветового зрения. Иными словами, данное свойство позволяет зрительной системе человека более или менее сохранять цветовое восприятие объектов в условиях изменяющегося в широком диапазоне освещения. Простейшим примером хроматической адаптации является восприятие белого листа бумаги в любых условиях освещения: лист будет оставаться белым как при солнечном свете, так и при освещении лампой накаливания. Данное явление отмечалось ещё в древности, так Аристотель сообщал следующее: «На тканях и вышивках цвета сильно зависят от их взаиморасположения (фиолетовый, например, кажется иным на белой шерсти, нежели на чёрной), а также от разницы в освещении. Вышивальщицы часто жалуются, что, трудясь при свете ламп, чаще путаются в этих цветах и берут неправильные». [1]

Модель цветового восприятия должна включать три этапа:

- преобразование хроматической адаптации, позволяющее вводить данные координат цвета для любого источника освещения;
- последующий переход к источнику освещения, используемый моделью (обычно это стандартный источник типа *D65*);
- функцию динамического отклика для обеспечения взаимосвязи между реакциями колбочек в сетчатке человека и интенсивностью (величиной) стимула. [2]

Преобразования хроматической адаптации (*CAT*), которые закладывались в модели цветового восприятия, во многом обязаны идеям Иоганнеса фон Криза. Им было предложено простое описание

хроматической адаптации, которое дало толчок последующим исследованиям. Ученый полагал, что «отдельные компоненты органа зрения полностью независимы друг от друга, и каждый утомлён или адаптирован исключительно в рамках своей функции» [1]. Со временем на смену одним *CAT* приходили другие. Исследователи пытались получить для матриц преобразования максимальное согласование как с *XYZ*, так и с результатами экспериментов по цветовому восприятию, в основном опираясь на эмпирический подбор коэффициентов. Матрицы преобразования, рассматриваемые в данной работе, представлены в таблице 1 [3].

Параллельно с работами по совершенствованию *SAM* моделей проводились физиологические исследования и предпринимались попытки построить физиологическое цветовое пространство.

В 2006 году технический комитет 1–36 МКО опубликовал доклад (далее называемый *CIEPO06*, аббревиатура *CIE 2006 physiological observer*) о выборе набора функций сложения и оценках фундаментальных параметров колбочек (*cone fundamentals*, под которыми коллектив авторов, возглавляемый *Andrew Stockman*, подразумевал функции спектральной чувствительности *LMS* рецепторов глаза, измеренные в плоскости роговицы) для наблюдателя с нормальным цветовым зрением.

Как видно из таблицы 1, даже самая последняя *CAT* матрица не совпадает с матрицей перехода для координат цвета из системы *XYZ* в *LMS(CIEPO06)*. Как это расхождение влияет на параметры кривых спектральной чувствительности рецепторов и изучалось в данной работе.

Таблица 1. Матрицы преобразования

Название		Матрица преобразования
1	<i>von Kries</i>	$\begin{bmatrix} 0,38371 & 0,68898 & -0,07868 \\ -0,22981 & 1,18340 & 0,044641 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
2	<i>Bradford</i>	$\begin{bmatrix} 0,8951 & 0,2664 & -0,1614 \\ -0,7502 & 1,7135 & 0,0367 \\ 0,0389 & -0,685 & 1,0296 \end{bmatrix}$
3	<i>CAT02</i>	$\begin{bmatrix} 0,7328 & 0,4296 & -0,1624 \\ -0,70365 & 1,6975 & 0,0061 \\ 0,0030 & 0,0136 & 0,9834 \end{bmatrix}$
4	<i>CAT16</i>	$\begin{bmatrix} 0,4013 & 0,65 & -0,5146 \\ -0,25 & 1,204 & 0,0458 \\ -0,002 & 0,489 & 0,953 \end{bmatrix}$
5	<i>CIEPO06</i>	$\begin{bmatrix} 0,211 & 0,855 & -0,0396 \\ -0,417 & 1,177 & 0,0768 \\ 0 & 0 & 0,516 \end{bmatrix}$

Методы исследования

В разработанной *MATLAB* программе сначала с помощью матриц преобразования происходил переход из системы *XYZ* в *LMS*, а затем проводилось сравнение полученных кривых по положению максимумов и их полуширины (рис. 1). Ниже приведены результаты сравнения с физиологической моделью *CIEPO06*.

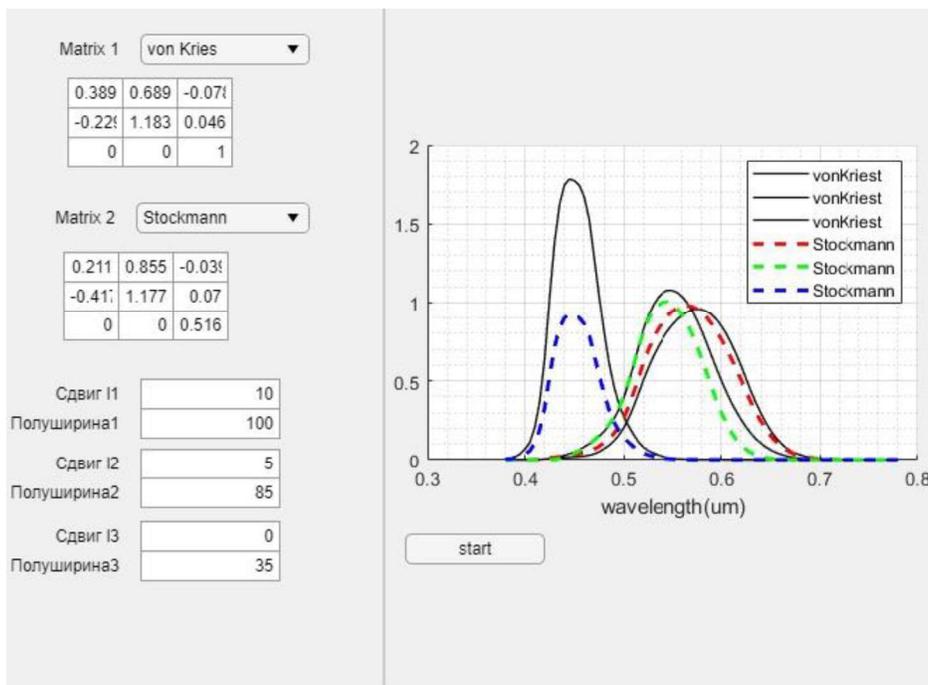


Рис. 1. Графический интерфейс пользователя

Результаты

Результаты, полученные с помощью программы, представлены в таблице 2. Для *L* и *M* кривых наблюдается значительное смещение максимумов по сравнению с *CIEPO06*, кроме того, для кривой *L* широко варьируется охватываемый диапазон длин волн.

Таблица 2. Результаты исследования

	<i>von Kries</i>		<i>Bradford</i>		<i>CAT02</i>		<i>CAT16</i>		<i>CIEPO06</i>	
	Сдвиг нм	Пш нм	Сдвиг нм	Пш нм	Сдвиг нм	Пш нм	Сдвиг нм	Пш нм	Макс, нм	Пш нм
L	-10	100	-30	110	-25	105	-15	100	565	95
M	-5	85	5	80	5	80	0	85	545	85
S	0	35	0	35	0	35	0	35	445	35

Примечание: Сдвиг положения максимума кривой относительно *CIEPO06*,
Пш — полуширина кривой

Графическое отображение данных (рис. 2) позволило обратить внимание на физиологическую недостоверность некоторых преобразований, поскольку в потенциальных реакциях колбочек появились отрицательные значения.

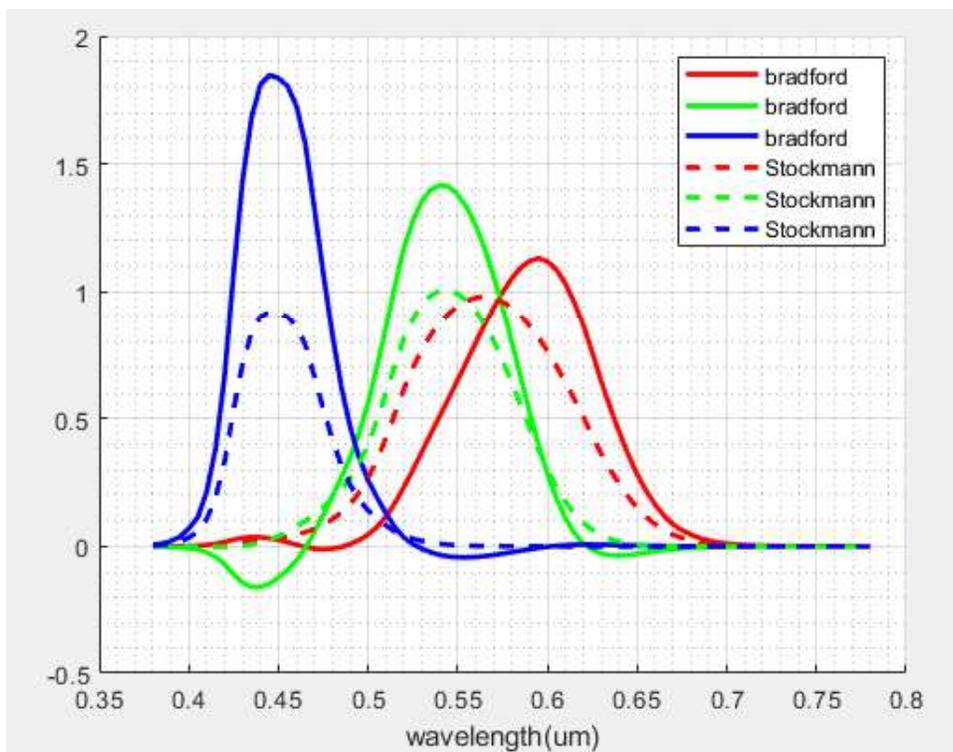


Рис. 2. Демонстрация результатов с помощью графика

Выводы

Если поставленной задачей является моделирование зрительного процесса, то стоит остановить выбор на гипотезе, основанной на последних данных по физиологии зрения, а не на эмпирическом подборе коэффициентов.

Список литературы

1. Fairchild M. D. Color Appearance Models, 2nd Ed., Wiley-IS&T, Chichester, UK, 2005
2. Luo M., Pointer M.R. CIE colour appearance models: A current perspective // Lighting Research & Technology, 2018, Vol.50, pp 129-140
3. Bianco S., Schettini R. Two new von Kries based chromatic adaptation transforms found by numerical optimization // Color Research & Application, 2010

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УРОВНЕЙ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

*К.А. Смолин, аспирант; А.А. Ашрятов, д.т.н, профессор,
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»*

Аннотация

В данной статье рассматривается функционально-физический анализ экспериментальной установки для исследования необходимого уровня освещения для выполнения зрительных работ и выявления зрительной утомляемости на орган зрения человека.

Ключевые слова: светодиод, освещение, производительность труда, зрительная утомляемость, *DIALux*, экспериментальная установка.

Введение.

На сегодняшний день светодиоды являются неотъемлемой частью светотехники, и встречаются во всех отраслях проектирования освещения: общественного, промышленного, и наружного. Поэтому развитие светодиодов и световых приборов на их основе остается перспективным направлением науки.

Высокие темпы роста рынка светодиодной продукции, несмотря на относительно высокую стоимость осветительных приборов, способствуют её широкому использованию, благодаря значительной экономии электроэнергии и снижению эксплуатационных расходов [1].

Проектирование освещения при использовании светодиодов, световая отдача которых составляет 150 – 160 лм/Вт и выше, при сроке службы от 50 тыс. часов, даёт возможность управления световыми и колориметрическими характеристиками излучения, что открывает перспективы создания динамичной и эргономичной световогой среды. Использование в осветительных установках светодиодных источников света исключает возникновение вредных и опасных производственных факторов, пожара или взрыва в процессе эксплуатации [2].

Методы исследования.

Для создания установки была использована лаборатория в учебном корпусе МГУ им. Н.П. Огарева, путем монтирования закрытых комнат для разных условий освещения.

Коэффициенты отражения ρ ограждающих поверхностей потолка, стен и пола исследовательских помещений соответственно составляют 0,7, 0,5 и 0,3, коэффициент отражения рабочей поверхности – 0,3. Ограждающие и рабочие поверхности помещений являются диффузно-отражающими [1].

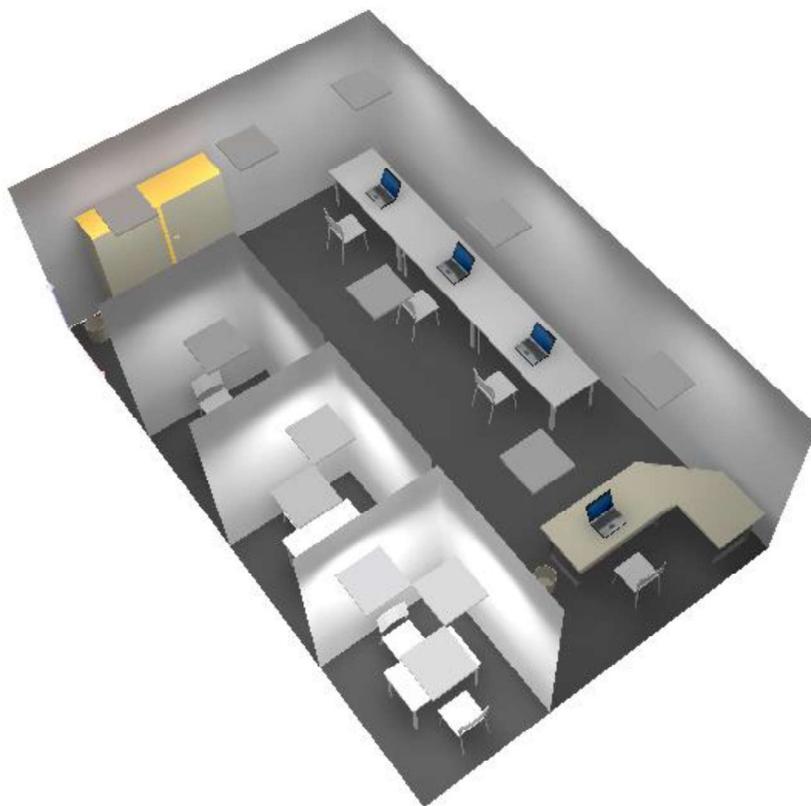


Рис. 1. Лаборатория для проведения эксперимента 3D вид

Для экспериментальных исследований был выбран светодиодный светильник потолочного типа для общественных зданий, административных, офисных и иных помещений. ДПО12-45-003 *Universal Opal 940*, изготовленный АО «Ардатовский светотехнический завод».

Перед началом эксперимента, варианты освещения были смоделированы в программе *DIALux 4.13*, с целью проверки предъявляемых СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» и ГОСТ Р 55710 – 2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» требований по освещённости и показателям дискомфорта [1].

Требования к количественным и качественным показателям общего освещения в производственных помещениях: разряд зрительной работы – высокая точность, наименьший или эквивалентный размер объекта различения от 0,30 до 0,50 мм.

Контраст объекта с фоном малый, характеристика фона – темный, индекс цветопередачи R_a не менее 80. Горизонтальная освещённость на высоте рабочей поверхности 0,8 м – 500 лк. Объединённый показатель дискомфорта, UGR – не более 25, Коэффициент пульсации освещённости – не более 15 % [3, 4].

В качестве модели зрительной работы выбрана работа с печатными документами СП52.13330-2016 изменения №2, продолжительностью 90 мин. Функциональная нагрузка заключается в изучении действующих норм и правил естественного, искусственного и совмещённого освещения зданий и сооружений, а также норм искусственного освещения селитебных территорий, площадок предприятий и мест производства работ вне зданий. Работа в течение 90 минут по выбранной модели эквивалента по зрительному утомлению при работе в офисе в течение восьмичасового рабочего дня [1, 4].

Экспериментальные исследования подразумевают проведение при трёх уровнях освещённости – 500, 1000 и 1500 лк.

Моделирование в программе *DIALux* 4.13 позволило также проверить нормируемые показатели – горизонтальную освещённость на рабочей поверхности и объединенный показатель дискомфорта *UGR*. Расчётным путем в *DIALux* удалось определить высоту установки светильника в 2,5 м, для достижения необходимых норм освещения.

UGR Список расчетных точек

№	Обозначение	Позиция [м]			Направление взгляда [°]	Значение
		X	Y	Z		
1	UGR точка 1 (500 лк)	3.991	0.949	1.200	180.0	/
2	UGR точка 2 (500 лк)	2.740	0.949	1.200	0.0	/
3	UGR точка 1 (1000 лк)	6.117	0.949	1.200	180.0	14
4	UGR точка 2 (1000 лк)	4.866	0.949	1.200	0.0	14
5	UGR точка 1 (1500 лк)	8.331	0.951	1.200	180.0	14
6	UGR точка 2 (1500 лк)	7.080	0.951	1.200	0.0	14

Рис. 2. *UGR* в контрольных точках при освещённости уровнях освещённости 500, 1000 и 1500 лк

Список расчетных поверхностей

№	Обозначение	Тип	Растр	E_{cp} [лк]	E_{min} [лк]	E_{max} [лк]	E_{min} / E_{cp}	E_{min} / E_{max}
1	500	по горизонтали	8 x 8	551	434	660	0.788	0.658
2	1000	по горизонтали	8 x 8	1041	812	1201	0.780	0.676
3	1500	по горизонтали	16 x 16	1520	1177	1740	0.775	0.677

Рис. 3. Горизонтальная освещённость на рабочей поверхности

Результаты.

Основная функция экспериментальной установки – создать условия необходимые для реализации эксперимента по определению необходимого уровня освещения для выполнения зрительных работ и выявления зрительной утомляемости на орган зрения человека. Анализ функций представлен в таблице 1.

Таблица 1. Анализ функций экспериментальной установки со светодиодным светильником

Элемент		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E ₀₁	Тёмное помещение	Φ ₀₁	Ограничение от естественных факторов окружающей среды, для создания необходимых условий
E ₀₂	Светодиодный светильник	Φ ₀₂	Создания необходимой для условий эксперимента нормируемой освещённости
E ₀₃	Светодиоды	Φ ₀₃	Преобразовывать электрическую энергию в световую
E ₀₄	Драйвер	Φ ₀₄	Особенностью является то, что они способны стабильно поддерживать на выходе заданный ток. Другими словами, драйвер для светодиодов (<i>LED</i>) – это источник тока для их питания.
E ₀₅	Корпус светильника	Φ ₀₅	Для защиты внутренних частей светильника от внешних факторов
E ₀₆	Рассеиватель	Φ ₀₆	Это составная часть оптики светильника, представляющая собой рифленое/гладкое прозрачное/полупрозрачное стекло, рассеивающее пучок света от источника/отражателя и защищающее сам светильник от загрязнений.
E ₀₇	Соединительные провода	Φ ₀₇	Служат для соединения электрических компонентов светильника, и подключения к сети питания
E ₀₈	Перечень средств измерений (СИ)	Φ ₀₈	Контроль количественных и качественных параметров на рабочей поверхности в экспериментальном
E ₀₉	Объект исследования	Φ ₀₉	Выполняет главную функцию, служит областью исследования.
E ₁₀	Перечень средств измерений (СИ) объекта исследования	Φ ₁₀	Оценка функционального состояния органа зрения
E ₁₁	Протоколы исследования	Φ ₁₁	Выполняют функцию записи и хранения информации

Конструктивная ФС экспериментальной установки, представлена на рис. 4.

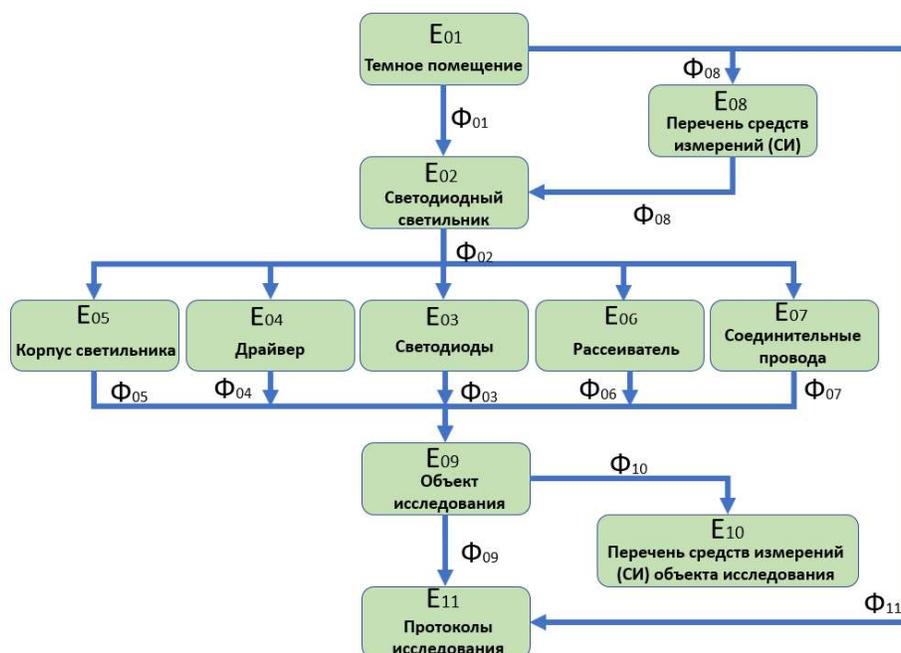


Рис. 4. Конструктивная ФС экспериментальной установки

Выводы.

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что экспериментальная установка для исследования необходимого уровня освещения с выполнением зрительных работ и выявления зрительной утомляемости на орган зрения человека работает и подтверждает на практике теоретические выводы. При помощи полученной конструктивной ФС экспериментальной установки, также появилась возможность проведения дополнительных экспериментов, путем изменения объекта исследования.

Список литературы

1. Железникова О.Е. Освещение светодиодными источниками света // Автоматизация. современные технологии. – 2019 г. – С. 540–543
2. Маркина Е.А. Перспективы применения светодиодных источников света в осветительных установках промышленных предприятий // сборник научных трудов «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» – 2015 г. – 544 с.
3. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*». Введ. 2017-05-08.
4. ГОСТ Р 55710-2013 «Национальный стандарт РФ. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений». Введ. 2014-07-01.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ КОМНАТЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗГРУЗКИ И ОТДЫХА

Стрижнёва М.А., студент;

руководитель: Смирнов П.А., к.т.н., доцент, НИУ «МЭИ» г. Москва

Аннотация

В работе изучаются технические характеристики специального осветительного оборудования для комнат психологической разгрузки и отдыха (далее КПРИО). На базе этой информации, а также проведённого эксперимента, разрабатываются 3D модели комнат психологической разгрузки и отдыха различных типов, с подробным описанием всех этапов реализации проекта, включая разработку 3D моделей специального осветительного оборудования. Также проводится анализ полученных результатов.

Ключевые слова: Комната психологической разгрузки и отдыха, сенсорная комната.

Введение

Одной из самых острых проблем современности, которая касается большинства людей, является перегруз нервной системы: переизбыток информации, стресс, а как следствие – нарушение работы различных систем организма в целом. Основной целью комнат психологической разгрузки является психическое и умственное расслабление. Свет – один из важнейших параметров, так как более 90 % информации человек получает через глаза, именно через воздействие специальным светом можно добиться наиболее полной психологической разгрузки [1]. Однако, информации по специальному оборудованию для КПРИО, крайне мало, как и исследований, посвящённых влиянию света на человека в рамках такого психотерапевтического инструмента.

Метод исследования

Главной задачей при проектировании освещения для комнаты психологической разгрузки и отдыха является комфортность восприятия этого освещения. Здесь важна цветовая температура источников света, также важно, чтобы свет не был слепящим, поэтому лучше использовать светильники мягкого рассеянного света (с диффузным или зеркальным отражателем) [2]. Целью эксперимента является установление опытным путём статистически самый визуально комфортный вариант освещения одного и того же помещения. В качестве помещения была спроектирована модель комнаты психологической разгрузки и отдыха.

В ходе эксперимента было смоделировано 5 вариантов освещения с использованием ОП различных по таким характеристикам, как световой поток, цветовая температура, КСС и т.д. (рис. 1–2).

Далее десяти испытуемым было предложено оценить все варианты и каждому из них поставить оценку по десятибалльной шкале (рис. 3).

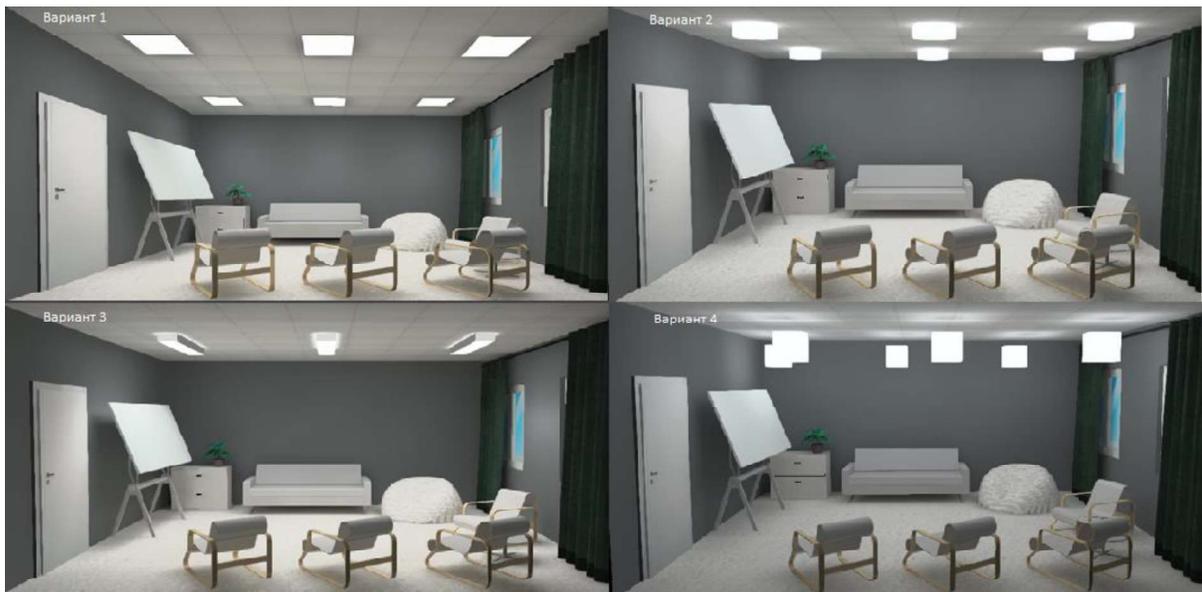


Рис.1. Варианты 1-4 экспериментального освещения



Рис. 2. Вариант 5 экспериментального освещения

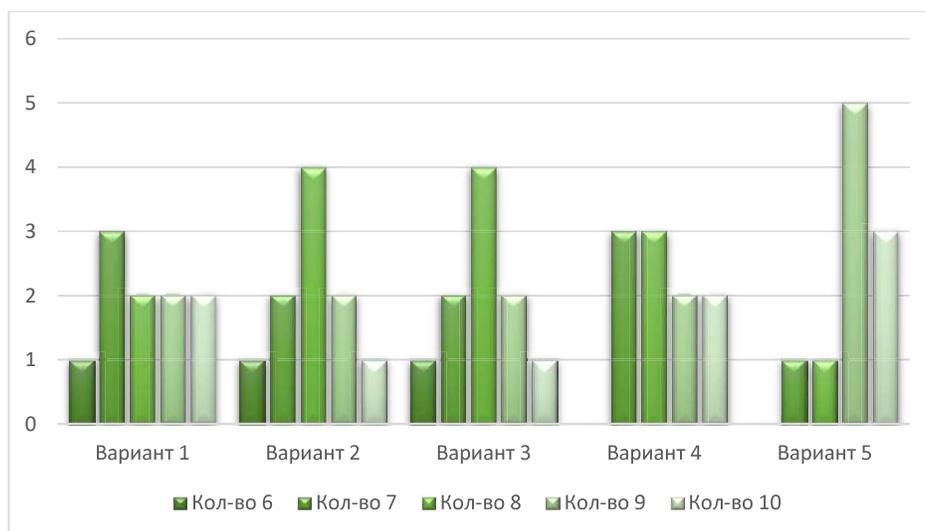


Рис. 3. Распределение оценок

Также был проведен анализ освещения каждого из пяти вариантов по параметру *UGR*. Расчётные точки были поставлены в местах на уровне глаз, где будут находиться люди. Это сделано с целью лучшего понимания и анализа данных, для определения уровня комфорта нахождения в помещении при различных сценариях освещения. После сбора статистических данных был проведен их анализ.

Результаты

В эксперименте использовались 5 видов светильников, с каждым из которых был разработан сценарий освещения комнаты психологической разгрузки. Количество светильников разное для каждого сценария.

Наиболее удачным оказался пятый вариант. В нем используются 9 светильников типа «даунлайт», равномерно расположенных по потолку. Благодаря более низкой цветовой температуре, при таком сценарии освещения визуально атмосфера в комнате кажется более тёплой и уютной. (рис. 3).

Обсуждение

Проведенный эксперимент наглядно может показать значимость предварительной визуальной оценки проекта. В дальнейшем планируется провести эксперимент, который затронет влияние светового потока различной цветовой температуры на выработку тех или иных гормонов, т.к. большое количество психических расстройств связано с некорректной или недостаточной выработкой определённых гормонов или их групп.

Выводы

Изучив данные таблиц, а так же результаты расчета *UGR* были сделаны следующие выводы:

- вариант 1 получился менее удачным из-за излишней строгости, которая задана формой, расположением и цветовой температурой

светильника. Также не совсем удачная КСС для данного помещения.

— В вариантах 2 и 3 показатель *UGR* получился больше, чем в остальных вариантах, из чего можно сделать вывод о не самом удачном выборе КСС светильников и их расстановки.

— вариант 5 сочетает в себе мягкость распределения освещения и выразительный неяркий свето-теневой рисунок, также за счет правильно подобранной цветовой температуры создается ощущение уюта и тепла, что помогает быстрее расслабиться людям, которые будут использовать данное помещение. Именно такой эффект считается оптимальным для выполнения наших задач.

Рассмотрев ОУ и интерьер реальных комнат психологической разгрузки, были разработаны три собственные концепции освещения и интерьера для различных типов КПРИО (рис. 4), проведен подбор осветительных приборов, выполнены визуализации и светотехнический расчет осветительной установки. Главный принцип освещения КПРИО – результат освещения должен быть максимально комфортным для восприятия. Только с таким подходом можно осуществить дальнейшую качественную эксплуатацию комнат, предназначенных для отдыха и снятия различных видов стресса.



Рис. 4. Варианты 1-3 моделей различных видов КПРИО с освещением

Список литературы

1. Леонидов А.В. Методика определения эффективных режимов воздействия оптического излучения при управлении циркадианной активностью организма человека // Светотехника. – 2020. – № 5. – С. 44–51
2. Шашылов А. Б., Уарова Р. М., Чуркин А. В. Основы светотехники: Учебник для вузов / Рецензенты: Б. И. Шапиро; Г. А. Бабушкин. – Москва.: изд. МГУП, 2002. – с. 280.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СТРУКТУР ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОДИОДОВ

*Сурков И.В., студент; Феник М.А., студент;
Рыбина В.А., ассистент; Туркин А.Н., к.ф-м.н., доцент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В последние несколько лет возродился интерес к технологиям *OLED*, это вызвано тем, что совершенствование технологии расширяет границы ее применения. В данной работе была разработана *MATLAB* программа, которая позволяет смоделировать спектры излучения многослойных *OLED* структур с тремя излучающими слоями, на основе спектров структур с одним излучающим слоем.

Ключевые слова: органические светодиоды, многослойная структура, изменение спектрального состава излучения.

Введение

Органические светодиоды (*OLED* – *organic light emitting diode*) представляют собой твердотельные источники света, изготовленные на основе органических полупроводников (*OSC* – *organic semi conductors*). Среди преимуществ *OLED* нельзя не отметить:

- За счёт простой структуры могут быть лёгкими и тонкими;
- Возможность создания гибких экранов;
- Широкий диапазон яркости от десятков до тысяч кд/м²;
- Высокая контрастность и большие углы обзора;
- Широкий диапазон рабочих температур;
- Выделение малого количества тепла;
- Отсутствие инерционности;
- Длительный срок службы и низкое энергопотребление.

Однако наиболее интересной нам представляется возможность комбинировать различные *OSC* в процессе разработки оптимальных конфигураций *OLED* структур с заданными характеристиками.

Научно-исследовательское сообщество активно изучает применимость *OLED* в рамках концепции *Human Centric Lighting* (с англ. «освещение, ориентированное на человека»), которая направлена на создание автоматизированного динамического освещения помещений с учётом воздействия на активность, самочувствие и настроение человека.

В университете Чанкая исследовательская группа проанализировала воздействие различных уровней освещённости, которые создавались *LED* и *OLED* световыми приборами, на визуальный комфорт наблюдателя и эффективность решения такой зрительной задачи как чтение (рис. 1, слева). По результатам *OLED*-освещение оказалось визуально более комфортным, чем светодиодное [1].

Как известно, источники света с низкой коррелированной цветовой температурой оказывают меньшее влияние на подавление мелатонина, что улучшает психологическое и физиологическое состояние людей. В исследовании группы Тайваньского национального университета Цин-Хуа были представлены высокоэффективные светоизлучающие *OLED* с очень низкой цветовой температурой [2].

Группа авторов представила концепцию гибкой системы освещения на базе *OLED* большой площади с модульной структурой, незаметно интегрированной электроникой и встроенным интеллектуальным управлением освещением. Модульная конструкция *OLED*-панели освещения позволяет управлять каждой *OLED*-ячейкой индивидуально (рис. 1, справа), обеспечивая компенсацию старения или деградации отдельных *OLED*-ячеек, а также регулировку яркости *OLED* для поддержки взаимодействия с человеком или окружающей средой с помощью умных датчиков [3].

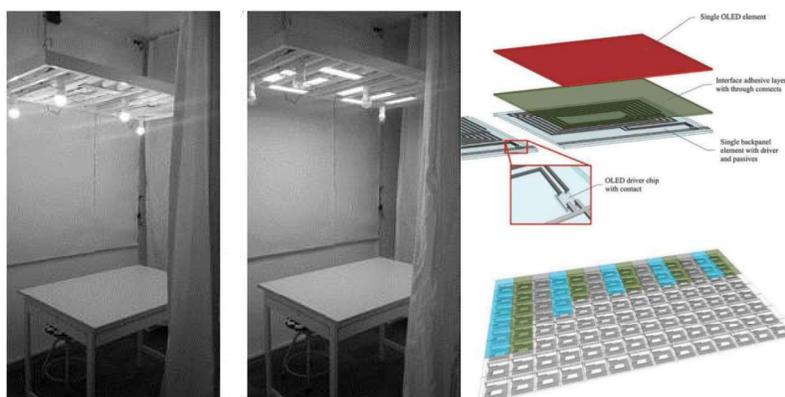


Рис. 1. Иллюстрации к исследованиям

Немаловажным направлением исследований является применение *OLED* в различных медицинских сферах.

Коллектив авторов [4] опубликовал положительные результаты по исследованию терапевтической эффективности применения стволовых клеток в области регенеративной медицины после их облучения *OLED* с максимальной длиной волны 532 нм.

Как отметили авторы статьи [5], *OLED* имеет огромный потенциал и в антимикробной фотодинамической терапии (ФДТ). Изменяя спектральное распределение источника света, возможно оптимизировать спектральные диапазоны излучения *OLED* и поглощения фотостабилизатора, вследствие чего генерировать больше активных форм кислорода.

Наиболее широко используемый подход для получения излучения заданного спектрального состава – это многослойная *OLED* структура, в которой одновременно излучают два или более слоя (рис. 2, справа).

Методы исследования

Исследовались монохромные образцы светодиодов красного (*R*), зеленого (*G*), синего (*B*) и белого (*W*) цветов свечения (рис. 2, слева).

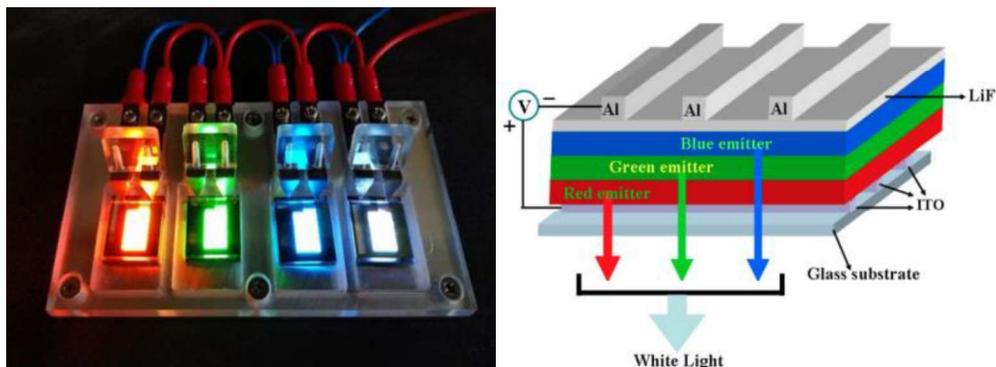


Рис. 2. Образцы *OLED*-дисплеев и принципиальная схема многослойного белого *OLED*

В разработанную *MATLAB* программу были загружены спектры образцов *TCR-698-51*, *TCB-699-49*, *TCG-697-63* (рис. 3) при токе в 25 мА и найдены значения координат цветности излучений: $x_R=0,6016$ и $y_R=0,3489$, $x_G=0,3058$ $y_G=0,6239$, $x_B=0,1611$ и $y_B=0,2348$.

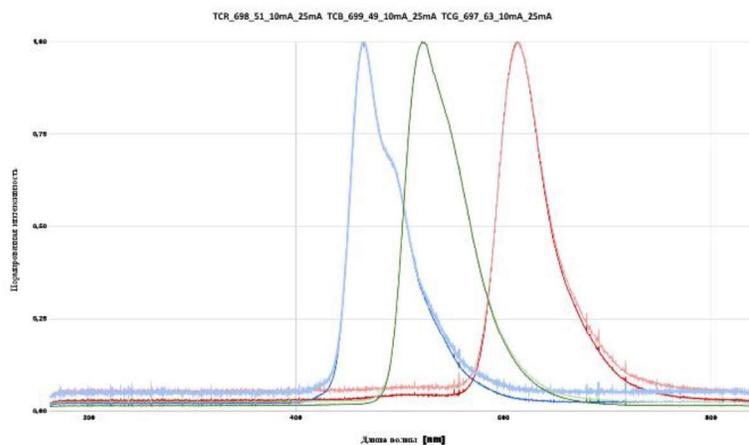


Рис. 3. Спектры электролюминесценции монохромных образцов при силе тока 10мА (для проверки) и 25мА.

Были получены следующие выражения (1) для координат цветности смеси излучений:

$$x_{mix} = \frac{k_1\sigma_1x_1+k_2\sigma_2x_2+k_3\sigma_3x_3}{k_1\sigma_1+k_2\sigma_2+k_3\sigma_3} \text{ и } y_{mix} = \frac{k_1\sigma_1y_1+k_2\sigma_2y_2+k_3\sigma_3y_3}{k_1\sigma_1+k_2\sigma_2+k_3\sigma_3}, \quad (1)$$

где x_i и y_i – координаты цветности излучения i -го образца;
 σ_i – модуль цвета, численно равный сумме координат цвета;

k_i – коэффициент пропорциональности, в которой i -ый образец смешивается.

Результаты

Для моделирования был выбран стандартный источник света $D65$ с координатами цветности $x_{D65} = 0,3128$, $y_{D65} = 0,3290$, который воспроизводит фазу дневного света с коррелированной цветовой температурой порядка 6500 К. Результат моделирования спектра представлен на рис. 4.

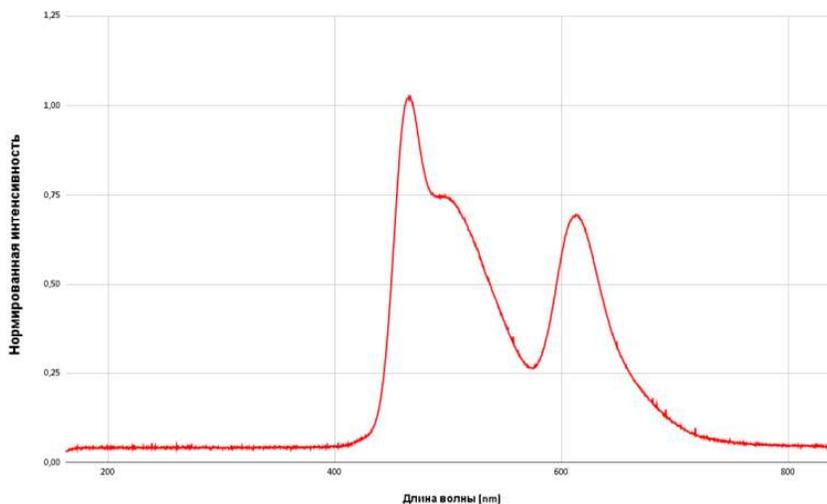


Рис. 4. Смоделированный спектр, соответствующий координатам цветности стандартного источника света $D65$, при комбинации монохромных образцов

Полученные коэффициенты пропорциональности: $k_R=0,626281$, $k_G=0,2789917$, $k_B=1$.

На технологическом участке в АО «ЦНИИ «Циклон» были изготовлены образцы $OLED$ структур белого излучения с разными толщинами излучательных слоев и с разной концентрацией люминесцентной добавки в каждом слое.

Слои были изготовлены с применением тех же излучающих материалов, что и при изготовлении монохромных образцов, однако, спектры несколько отличались от $TCR-698-51$, $TCB-699-49$, $TCG-697-63$.

В той же программе коэффициенты пропорциональности были пересчитаны с учетом изменений спектров: $k_R=0,36310$, $k_G=0,36284$, $k_B=1$. Итоговые результаты представлены на рис. 5.

Различие между смоделированным и изготовленным образцом $TCW-838$ объясняется множеством возможных процессов рекомбинации возбужденных состояний в сложных многослойных $OLED$ структурах.

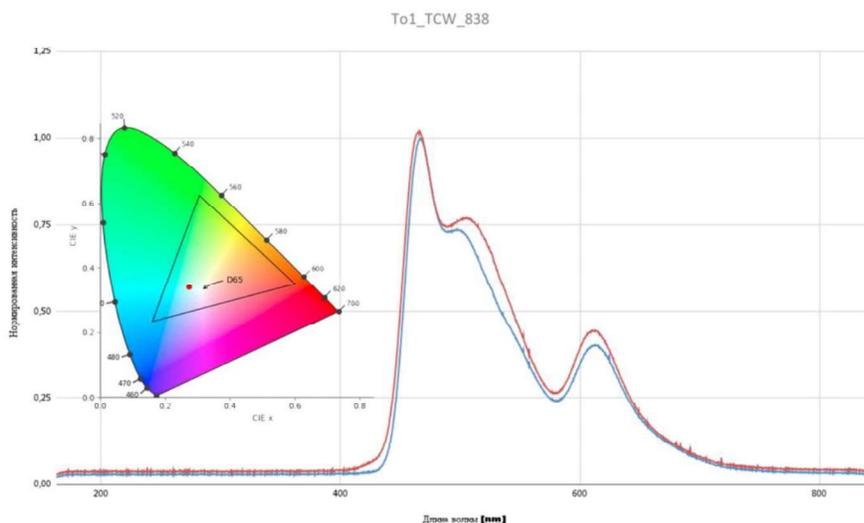


Рис. 5. Спектр образца *TCW-838* (нижняя линия) и моделированный спектр (верхняя линия). Точка на локусе – координата цветности *TCW-838*

Выводы

По результатам работы были исследованы реальные спектры образцов органических светодиодов с одним излучающим слоем (красным, зелёным, синим), на основе которых в дальнейшем происходило моделирование спектров многослойных *OLED* структур белого света свечения в специально разработанной программе. Проведение математического моделирования позволяет ускорить процесс оптимизации и разработки *OLED* структур при сокращении времени и затрат на проведение множественных технологических процессов.

Список литературы

1. *Avcı A.N., Memikoğlu I.* Evaluating effectiveness of LED and OLED lights on user visual comfort and reading performance, July 2021A|Z ITU Journal of Faculty of Architecture 18(2):397-411.
2. *Kumar S. et al.* High Efficiency Very Low Color Temperature Phosphorescent Organic Light Emitting Diodes, *IPCSIT* vol. 28 (2012), 117-121.
3. *Monté A., Kundrata J., Schram J., Cauwe M., Baric A. & Doutreloigne J.* A Modular and Interactive OLED-Based Lighting System, *LEUKOS*, (2017) 13:4, 211-221.
4. *Lee, S.H., Kim, YJ., Kim, Y.H. et al.* Enhancing therapeutic efficacy of human adipose-derived stem cells by modulating photoreceptor expression for advanced wound healing. *Stem Cell Res Ther* 13, 215 (2022).
5. *Lian, C., Piksa, M., Yoshida, K. et al.* Flexible organic light-emitting diodes for antimicrobial photodynamic therapy. *npj Flex Electron* 3, 18 (2019).

ВОСПРИЯТИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ОСВЕЩЕНИИ

*Суркова А.Д., студент; Смирнов П.А., к.т.н., доцент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В представленной работе предлагается исследование зависимости визуального восприятия объекта с численным значением яркости для упрощения реализации задуманной архитектором, светотехником, светодизайнером сцены освещения.

Ключевые слова: распределение яркости, светотехнические измерения, яркость, цилиндр, колонна.

Введение

В настоящее время большее внимание уделяется архитектурному освещению, огромное количество публикаций в инженерно-технологической области посвящено изучению светодиодных источников света, дизайну и рекламе, тем не менее, научных исследований в области художественной выразительности и формообразующих свойств света всё ещё недостаточно.

Нашей целью является определение зависимости между визуальным восприятием объекта и численным значением яркости, которое светотехник получает при расчете осветительной установки, что необходимо для упрощения задачи по воплощению в жизнь задуманной архитектором, художником, светодизайнером идеи.

Метод исследования

Основной целью эксперимента было исследование восприятия цилиндрического объекта на светлом фоне с точки зрения светотехнических характеристик. В соответствие восприятию объёма мы поставили яркость. На восприятие объёма цилиндрического объекта влияют следующие факторы: форма его контура, рисунки на нем, тени от контура, распределение яркости, взаимное перемещение, стереоскопия зрения.

Все факторы, кроме стереоскопии, были исключены. Стереоскопию оставили в связи с тем, что смоделированный и реальный объекты наблюдаются в условии стереоскопии, поэтому переход к плоскому изображению не целесообразен. Форму краев цилиндра мы убрали с помощью специальной диафрагмы, которая отсекала верх и низ объекта и стояла перед наблюдателем. Наблюдатель видел через диафрагму только среднюю часть объекта. Объект был сделан из белого материала без рисунка с диффузным характером отражения, тени располагались вертикально. В качестве измеренной характеристики осталось только распределение яркости и стереоскопия как фактор, помогающий определить цилиндричность объекта.

Установка находилась в тёмном помещении. Она состояла из бокса, окрашенного чёрной краской, в котором находилась колонна. Также внутри бокса располагались два осветительных прибора, один располагался вертикально сбоку от колонны, второй освещал светлый фон. Перед колонной, снаружи бокса, находился третий осветительный прибор, который освещал объект снизу. Между установкой и наблюдателем стояла диафрагма, отсекающая верх и низ колонны. Место наблюдателя расположили на расстоянии трёх метров от объекта для соблюдения условия стереоскопии.

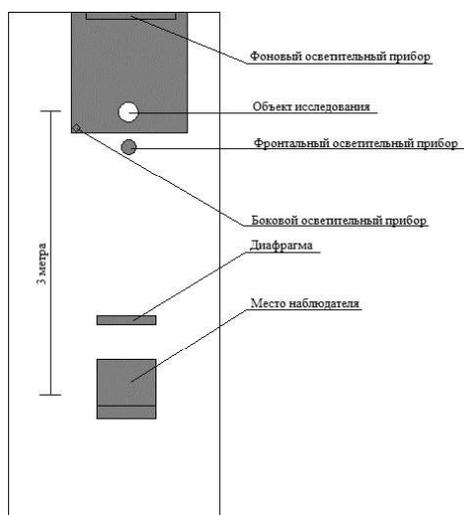


Рис. 1. Схема установки

Яркость колонны измеряли в 5 точках (рис. 2) при помощи яркомера фирмы *LMT* типа *L10090*. Измерения производились в лабораторно-исследовательском комплексе УИК ВНИСИ.

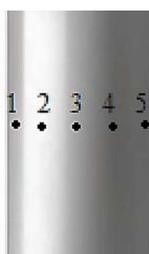


Рис. 2. Расположение точек колонны, в которых измеряли яркость

Суть эксперимента заключалась в следующем: наблюдатели должны были сказать, при каком освещении колонна визуально казалась им наиболее цилиндричной.

Сначала мы показывали весь диапазон освещённости от минимума до максимума и обратно, плавно меняя напряжения на боковом и фоновом источниках света при выключенном фронтальном. Затем, попеременно меняя напряжения источников, находили значения, при которых колонна выглядела наиболее цилиндрической для наблюдателя.

После этого добавляли фронтальный источник света, показывали весь диапазон, попеременно меняли напряжения на всех трех источниках света. Наблюдатели также указывали, когда объект был наиболее цилиндрическим.

Таблица 1. Значения, при которых колонна казалась наиболее цилиндрической

Наблюдатель	U_{ϕ} , В	U_{δ} , В	$U_{\text{фр}}$, В	L_1 , кд/м ²	L_2 , кд/м ²	L_3 , кд/м ²	L_4 , кд/м ²	L_5 , кд/м ²
1	112	116	2,88	92,66	168	15,92	11,5	1,48
2	146	102	2,73	60	124,68	8,14	3	1,48
3	186	90	2,78	27	92,4	11,2	5	0
4	166	166	2,78	182	236,4	11,2	5	0
5	194	120	2,87	102,96	176,7	15,84	10,7	0,58

По полученным данным были построены графики распределения яркостей по колонне (рис. 3, подписи кривых соответствуют номерам наблюдателей).

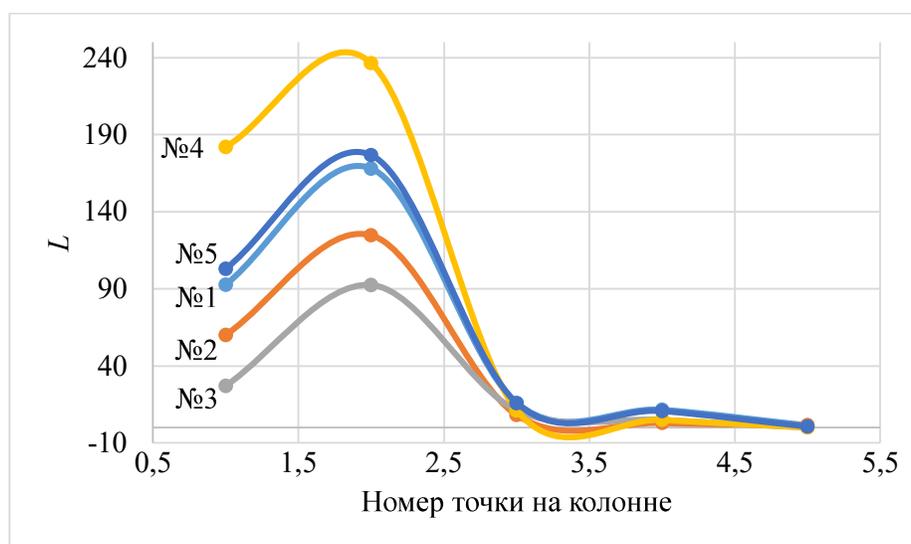


Рис. 3. Распределения яркостей по объекту

Результаты

Как можно заметить, уровни яркостей точек, при которых объект визуально казался наблюдателям наиболее цилиндрическим, для разных испытуемых различны. Однако прослеживается одна тенденция: кривые, описывающие распределения яркостей, схожи по форме.

Для считывания цилиндрической формы важен градиент между освещенными участками и участками, находящимися в тени. При резком переходе из света в тень объект воспринимался треугольным, а при отсутствии градиента колонна и вовсе становилась визуально плоской (рис. 4).

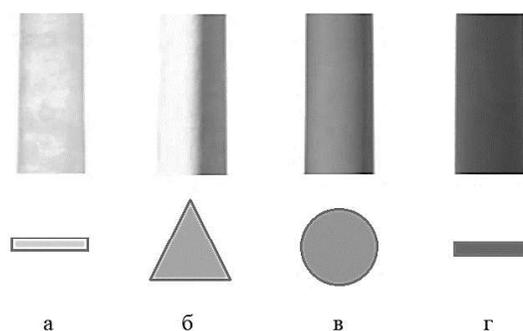


Рис. 4. Восприятие колонны при различных распределениях яркостей

Наблюдатели также отметили, что фоновый источник слабо влияет на восприятие формы колонны, он практически не освещал ее (рис. 4г), а наибольший вклад вносит фронтальный источник в совокупности с боковым. По-отдельности фронтальный источник превращал колонну в плоский объект (рис. 4а), а боковой – в треугольный (рис. 4б).

Обсуждение

Данная работа была подготовительной. В дальнейшем планируется выявить численные зависимости между распределением яркости и визуальным восприятием объекта.

Выводы

После проведения эксперимента стало ясно, что свет является одним из главных формообразующих факторов, он «лепит» среду, может как улучшить визуальные свойства объекта, так и ухудшить их. На примере колонны это прекрасно видно. По полученным кривым распределений можно воссоздать картину цилиндрического объекта в программах, предназначенных для проектирования освещения. При этом при проектировании таких объектов важно учитывать плавность перехода между освещенными частями и затененными.

Список литературы

1. Справочная книга по светотехнике 2006. / Под. ред. Ю.Б. Айзенберга. 3—е изд. перераб. и доп. М.: Знак. — 972 с: ил.
2. Суздальова Е.А. Магистерская диссертация «Исследование восприятия объёма цилиндрических объектов в зависимости от распределения яркости». НИУ МЭИ, 2018 г. – 123с
3. Восприятие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/6208598/page:6/>
4. Параллакс [Электронный ресурс] // Википедия: сводная энцикл. – Электрон. дан. – [б. и.], 2018. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Параллакс>
5. Спазм аккомодации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://drvision.ru/bolezni/akkomodaciya/spazm-akkomodacii.html>
6. Гершуун А.А., Лазарев Д.Н. К вопросу о влиянии освещения на видимость // Светотехника.–1935.– № 4. – С. 1–8.

СИСТЕМА АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА

*Трущенко Е.Е., студент,
НИ «ТПУ», г. Томск*

Аннотация

В данной статье представлены результаты применения технологии 3D лазерного сканирования для создания проекта архитектурно-художественного освещения памятника деревянного зодчества, расположенного по адресу г. Томск, пр. Ленина, д. 59. Для математической модели, построенной на основе облака точек, выполнен проект освещения в программе *DIALux evo*. Вычисленные коэффициенты различимости деталей и отношения максимальной освещённости к минимальной входят в нормированные диапазоны.

Ключевые слова: 3D лазерное сканирование, реконструкция, реставрация, памятники архитектуры, деревянное зодчество, искусственное освещение, архитектурное освещение.

Введение

В Томске более 700 памятников деревянного зодчества. Дерево не является долговечным материалом, что создает риск утратить уникальную архитектуру.

Использование инновационных приборов и технологий, таких как наземное лазерное сканирование в разы упростит и ускорит работу архитекторов и проектировщиков при разработке проектов реконструкции памятников архитектуры. Благодаря созданной по облаку точек трёхмерной модели чертежи могут быть получены в любом виде и в любое время без проведения дополнительных замеров. На созданную модель при необходимости накладываются текстуры с учётом коэффициентов отражения материалов и их цвета.

Детализированная модель отражает все особенности реального объекта, что необходимо для анализа соответствия проекта освещения нормам. Декоративные элементы деревянного зодчества особенно чувствительны к избыточной освещённости: элементы воспринимаются как единое световое пятно, не отражающее деталей резьбы и оказывающее слепящее действие на наблюдателя. Для того чтобы избежать этого эффекта, регламентируются коэффициенты различимости элементов и градиент освещённости, создаваемый световыми приборами. Проект освещения, выполненные в соответствии с нормативными документами, подчеркнёт особенности здания, создаст новый образ, который в дальнейшем положительно повлияет на эмоциональное состояние жителей города.

Методы исследования

Существуют программы, способные обрабатывать результаты лазерного сканирования. Они должны работать с большими объёмами данных и выполнять базовые функции, необходимые для трёхмерного моделирования. Например, при работе с облаком точек необходимо измерение расстояния между точками для контроля масштаба облака. Другие важные функции программ: масштабирование облаков точек, их перемещение, удаление точек. Новейшие программные комплексы для работы с массивами точек, например, *RiSCAN Pro* и *PolyWorks* [1] способны автоматически на основе данных о минимальных расстояниях между точками строить поверхности и триангуляционные сетки. Постобработка облака точек и моделирование выполнено в программе *SOLIDWORKS*, поскольку программа обладает необходимым функционалом и позволяет создавать математические модели на основе данных в формате *xuz*, т. е. облака точек. Полученная модель используется для моделирования освещения и проведения расчетов в программе *DIALux evo*, имеющей широкий набор функций и позволяющей проектировать внутреннее и наружное освещение.

Основные результаты

В программном комплексе *Cyclone* было проведено совмещение четырёх облаков точек, полученных сканером с разных точек наблюдения. По результатам вычислений погрешность совмещения составила 10 мм, что является достаточным для выполнения достоверного моделирования. Результат первичной обработки – облако точек объекта, не имеющее шумов, т. е. точек, не относящихся к объекту съёмки (рис. 1).

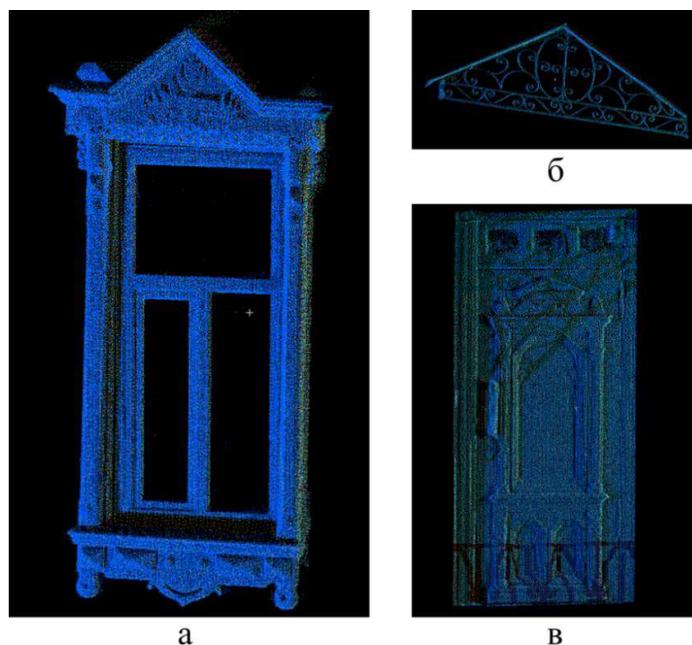


Рис. 1. Облако точек наличника (а), кованого элемента козырька (б) и двери (в)

При моделировании были выполнены разрезы облака, после чего очерчивался его профиль, и создавалась модель. Данные сканирования содержат актуальную информацию о состоянии объекта, поэтому облако точек отражает не только главные геометрические параметры, но и дефекты. При моделировании были созданы модели неповреждённых элементов, после чего на них были наложены текстуры, повторяющие характеристики реального объекта (рис. 2). Построенные модели могут использоваться как для получения обмерных чертежей и реконструкции, так и для создания сборочной модели, необходимой для проектирования освещения.

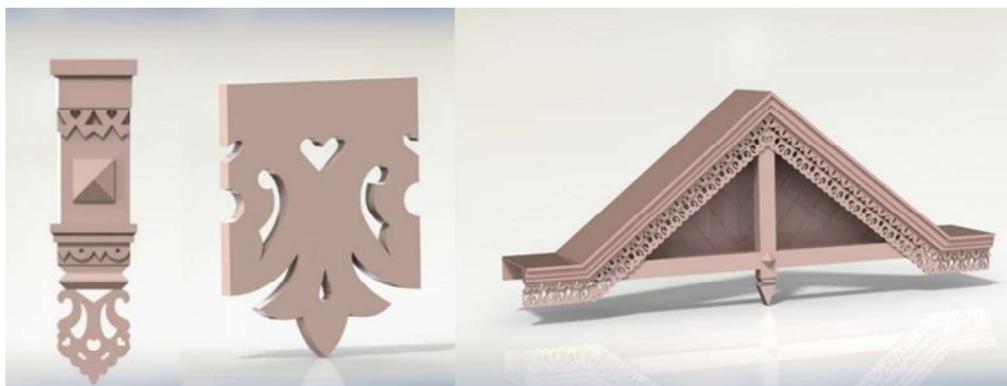


Рис. 2. Детали сборочной модели

Поскольку детализированная модель содержит избыток информации об объекте, была создана упрощенная модель, используемая для создания проекта освещения в программе *DIALux evo*. Выполненная модель содержит информацию о размерах и положении следующих элементов: наличники, бревенчатые стены, многоуровневый карниз, фронтонов, крыша и двери подъезда.

Для создания проекта освещения использовались светильники с необходимой степенью пыле- и влагозащиты производства компании *Arlight*. Поскольку фасадная краска имеет тёплые тона, были выбраны светильники цветовой температуры 3000 К, характерной для нейтрального белого света, не искажающего истинный цвет фасада. За карнизом располагается соединение светодиодных лент, обеспечивающее создание равномерной освещённости по всему карнизу. При освещении фронтона использованы светодиодные ленты, располагающиеся за карнизом и на внутренней стороне перекрестия фронтона. Фронтон является одним из главных композиционных элементов фасада, поэтому средняя освещённость на нём выше на 19 %, чем на плоскости под карнизом. На наличниках также создается акцент с помощью прожекторов, расположенных над ними и имеющих косинусную КСС. Прожекторы и светодиодные ленты не оказывают слепящего действия на наблюдателя, находящегося на расстоянии 8 м от фасада и высоте 1,7 м.

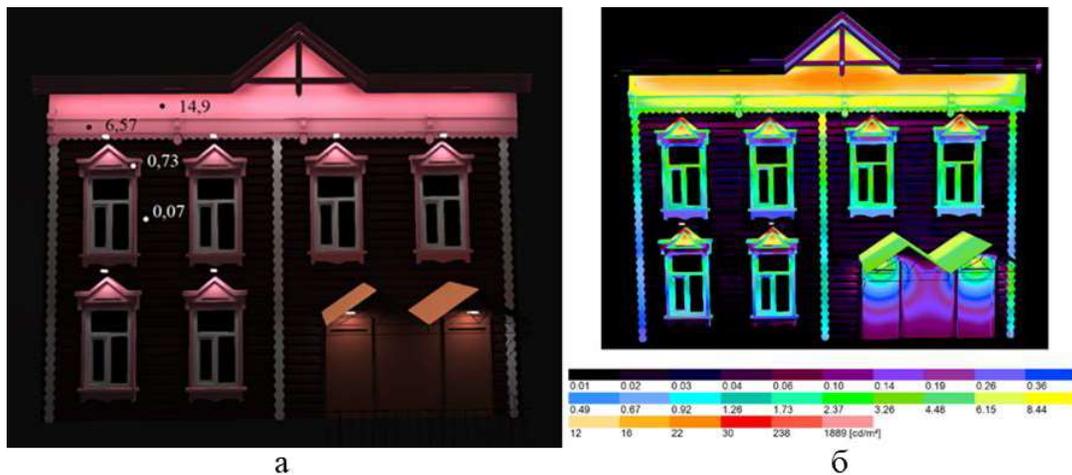


Рис. 3. Проект освещения в программе *DIALux evo* со значениями яркости в точках, кд/м^2 (а) и проект освещения в фиктивных цветах (б)

Для более наглядного представления освещения фасада был создан проект освещения детализированной модели фасада, построенной по результатам данных лазерного сканирования (рис. 4).

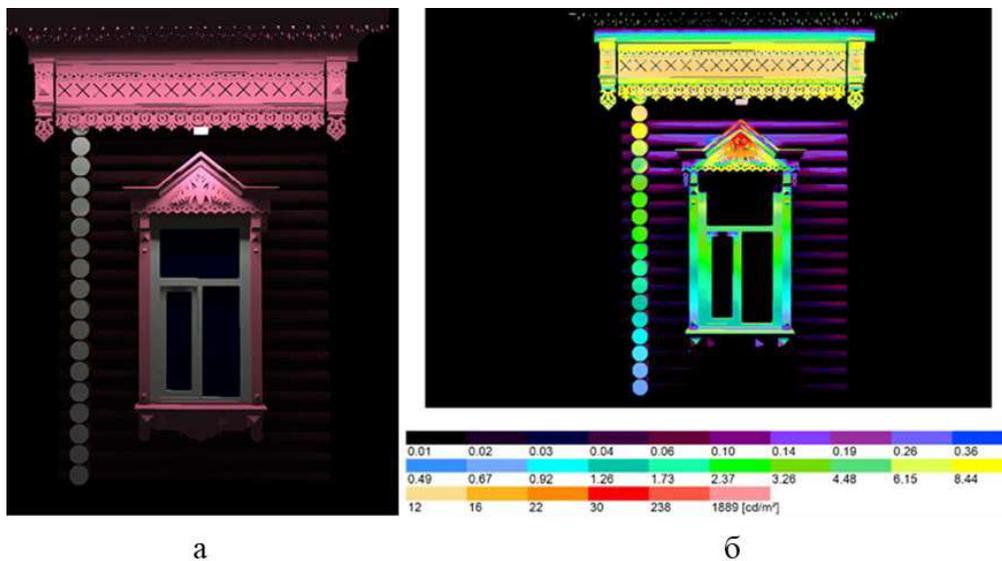


Рис. 4. Освещение детализированного фрагмента фасада (а) и распределение освещённости в виде фиктивных цветов (б)

Контраст имеет большую величину, так как цвет деталей отличается, из-за чего даже при равномерной освещённости будет создаваться большой контраст величиной более 0,5. Контраст между карнизом и стеной вычисляется по формуле:

$$K_{min} = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi} = \frac{6,57 - 0,07}{0,07} = 92,9$$

Контраст между деталями разных уровней карниза:

$$K_{min} = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi} = \frac{14,9 - 6,57}{6,57} = 1,3$$

Минимальный коэффициент различимости наличника на фоне бревенчатой стены:

$$K_{min} = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi} = \frac{0,73 - 0,07}{0,07} = 9,42$$

Контраст считается большим, если он превышает значение 0,5. Все вычисленные значения контрастов превышают это значение [2]. Вычисленное отношение максимальной освещённости под карнизом к минимальной внизу стены равно 24,3, что входит в нормированный диапазон от 10 до 30 [3].

Выводы

В результате был выполнен цикл работ по моделированию фасада памятника деревянного зодчества на основе данных лазерного сканирования, имеющих погрешность 10 мм.

Создан проект освещения упрощённой и детализированной модели фасада здания. Значение отношения максимальной и минимальной освещённости согласно нормативным документам должно быть от 10:1 до 30:1 и составляет 24,3:1. Средняя яркость заливающего освещения фасада здания должна составлять 5 кд/м², при расчете для наблюдателя, расположенного на расстоянии 8 м и на высоте 1,6 м, было получено значение яркости 3,4 кд/м², удовлетворяющее условию.

Определены значения яркостного контраста между декоративными элементами, все вычисленные значение превышают 0,5, из чего следует, что контраст на элементе большой, и на нем создан акцент.

Таким образом, проект освещения удовлетворяет принципам проектирования архитектурного освещения: выделены доминанты архитектурной композиции, создан плавный градиент

Список литературы

1. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Глазков Р.Е. Анализ программного обеспечения для обработки данных наземного лазерного сканирования // Современное промышленное и гражданское строительство. 2016. Том 12, вып. 3, с. 128-140.
2. Гусев, Н.М. Архитектурная светотехника : Учебник для архитектурных вузов / Н. М. Гусев. – М.-Л., Гос. Архитектурное изд., тип. № 2 упр. Изд-в и полиграфии Исполкома Ленгорсовета, 1949. – 150 с. : ил.
3. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение": свод правил : (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. N 777/пр // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» : [сайт]. –URL:<https://docs.cntd.ru/document/456054197?section=text> (дата обращения: 20.07.2022).

ПРОЕКТ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ БОЛЬНИЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

*Чибиркина А.С., бакалавр; Фомин А.Г. к.т.н. доцент,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

В рамках данной работы был предложен проект освещения больничного отделения с применением современных технологий биодинамического и функционального освещения медицинских учреждений. Рассмотрены возможные режимы работы систем освещения, а также их влияние на различные категории людей, характерные для рассматриваемого объекта.

Ключевые слова: освещение медицинских учреждений, биодинамическое освещение, автоматизированное управление освещением, цветовая температура, диммирование, циркадные ритмы, сценарии освещения, здоровье.

Введение

Для лечебно-профилактических учреждений разработка и проектирование осветительных установок требует особого подхода, так как существуют особые требования к освещению подобного рода категорий помещений. Больничное отделение состоит из нескольких помещений, в которых проводится зрительная работа различной сложности. Освещение должно быть не только функциональным и удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям, но и учитывать психофизические потребности пользователей систем освещения, а также различные аспекты влияния этих систем на человека.

Воздействие света и его функциональность очень важны как для пациентов, так и для персонала больниц. Пациенты должны иметь возможность индивидуальной регулировки персонального освещения. Медработники и обслуживающий персонал должны работать в комфортных условиях, освещение должно соответствовать потребностям для определенной зрительной задачи.

Методы исследования

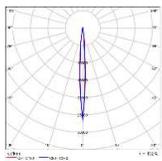
Для условного больничного отделения, размещённого на одном этаже здания, имеющего площадь 240 м² и содержащего 11 помещений (не считая лестниц, тамбуров и коридоров), был произведён подбор светотехнического оборудования и светотехнический расчёт. В качестве нормативных документов использовались [1] и [2].

Важной отличительной особенностью разработанного проекта является применение в палатах светильников в виде искусственных мансардных окон, которые могут использоваться, как альтернатива естественному освещению. В отличие от обычных светильников с возможностью регулирования светового потока и цветовой температуры,

данный вид световых приборов также обеспечивает имитацию движения солнечных лучей в течение суток. Подобные системы «умных окон» создают визуальное ощущение реального окна и солнечного света на синем небе.

При использовании различных алгоритмов управления цветовой температурой и световым потоком можно добиться как бодрящего, тонизирующего, так и напротив – расслабляющего действия на пациентов, в зависимости от требований конкретного курса и этапа лечения. Основные параметры применённых в проекте «искусственных окон» приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры светильников типа «искусственное окно»

Наименование / артикул	Фото	КСС	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тцв, К	Ra
<i>EWINDOW EW6060FBI/2</i>			106	2169	2700-6500	90

Результаты

Светотехнический расчет для всех помещений был выполнен в программе *DIALux evo* 10. План помещений с размещением световых приборов показан на рис. 1. Во всех помещениях нормируемые показатели освещения соответствуют как отечественным [1], так и зарубежным [2] нормативным документам.

Особое внимание в работе уделено учёту возможного зрительного дискомфорта. В больничной палате, в частности для пациентов на койках важно обеспечивать максимально комфортные условия. Поэтому при выборе и установке осветительной установки необходимо учитывать обобщенный показатель дискомфорта – *UGR*. Несмотря на то, что программа *DIALux evo* предоставляет возможность расчёта этого параметра, этот расчёт всегда производится для горизонтальной линии зрения наблюдателя, а значит, в данном случае не применим. В связи с этим обобщенный показатель дискомфорта *UGR* рассчитан с помощью формул (1), (2) [3].

$$\left(UGR = 8 \log \left[\frac{25}{L_B} \cdot \Sigma \left(\frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \right] \right) \quad (1)$$

$$\left(p = \exp \left[\begin{array}{l} (35,2 - 0,31889\alpha - 1,22e^{-\frac{2\alpha}{9}}) 10^{-3} \beta + \\ + (21 + 0,26667\alpha - 0,002966\alpha^2) 10^{-5} \beta \end{array} \right] \right), \quad (2)$$

где L_B – яркость фона

L – яркость светильника;

ω – телесный угол светящейся части светильника;

α – угол от вертикали на плоскости источника и линии зрения человека;

β – угол между линией зрения и линией от наблюдателя к центру светящейся части светильника;

p – индекс позиции Гута.

Расчётные значения UGR для всех рассмотренных вариантов размещения коек в палатах не превышают 16.

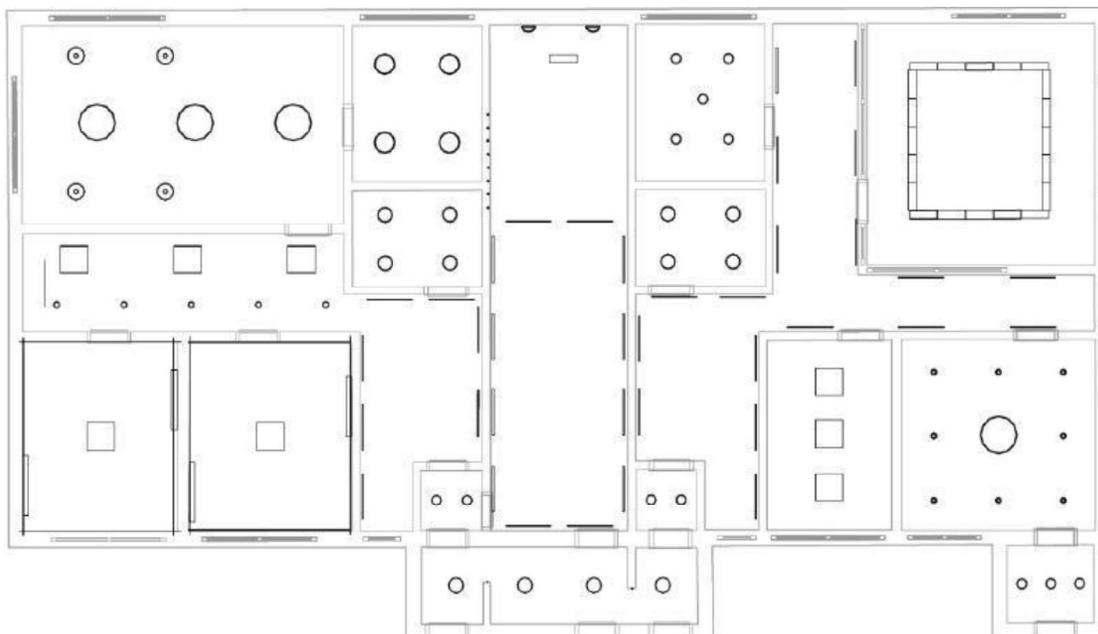


Рис. 1. План помещений больничного отделения с размещением осветительных приборов

Обсуждение

В качестве основы при разработке данного проекта была выбрана концепция биодинамического, или «человеко-ориентированного» освещения *Human Centric Lighting (HCL)* [4]. Она предлагает комплексное решение для реализации визуального, эмоционального и биологического воздействия на здоровье, работоспособность и общее психофизическое состояние человека. При этом эмоциональная составляющая определяется зрительным восприятием и не визуальным биологическим действием освещения. Именно она формирует общее ощущение световой среды [5].

Выбранная система освещения способна изменять характеристики цветовой температуры и пространственного распределения интенсивности излучения подобно естественному источнику света (рис. 2).



Рис. 2. Визуализация освещения больничной палаты (режим освещения «полдень»).

Выводы

В рамках представленной работы был разработан комплексный проект, содержащий в себе первый этаж больничного отделения, состоящий из 21 помещения. С нашей точки зрения подобные осветительные установки, способные изменять светотехнические характеристики светильников в соответствии с различными потребностями, могут быть рекомендованы к реализации, так как имеют множество преимуществ перед традиционными световыми решениями. В частности, при использовании динамической системы освещения, качество работы медицинского персонала возрастает, пациентам становится комфортнее во время пребывания в больнице и ускоряется процесс их выздоровления. Рассматриваемое решение способно стимулировать восстановительные процессы, нормализацию циркадных ритмов, улучшение настроения и повышение комфорта пребывания для пациентов и работы для медицинского персонала.

Список литературы

1. СП 52.13330.2016. Свод правил «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. М.: Стандартинформ, 2018. – 116 с.
2. DIN 5035-3-2006. Artificial lighting - Part 3: Lighting of health care premises. – 23 p.
3. *Shuster J.* Addressing Glare in Solid-State Lighting. URL: <https://www.cooperlighting.com/s/ephesus/assets/31-Bright-Paper-Adressing-Glare.pdf> (дата обращения: 28.08.2022).
4. *Kevin W. Houser, Tony Esposito.* Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2021.630553/full> (дата обращения: 28.08.2022).
5. Методическое руководство по проектированию динамического освещения общественных зданий. М.: Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве, 2019. – 100 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЯРКОСТНЫХ И ЦВЕТОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В КАБИНЕ ПИЛОТА

*Шубина А.С., студентка;
рук. Снетков В.Ю., НИУ «МЭИ», г. Москва*

Аннотация

Описаны методики и результаты исследований по использованию различных цветов и градаций серого в средствах отображения информации, с целью определения их неотличимости или уверенного различения.

Ключевые слова: средства отображения информации (СОИ), методики, цветовой контраст, цветоразличение, контраст по светлоте, градации серого.

Введение

Восприятие данных должно быть комфортным и безошибочным, только при этом условии возложенные на средства отображения информации (СОИ) функции будут выполняться правильно. В качестве практического примера постановки и решения проблемы, приведём использование цветов на приборных панелях в кабине пилота и определение различимых градаций серого средства отображения информации с черно-белой матрицей. Конструкторским бюро (КБ) «Сухого» нам были предоставлены реальные цвета и диапазон яркостей, использующиеся в СОИ, для определения возможности их применения, при условии корректного восприятия цветов. В качестве параметра, определяющего возможность восприятия цветов и как неразличимых или как уверенно отличных друг от друга, был принят – цветовой контраст по инженерному алгоритму Н. М. Беляевой [1], базировавшему на самой равноконтрастной из известных нам и соответствующей большинству экспериментальных данных системе проф. Матвеева. Проверка цветов на уверенное различие или одинаковость проводилась по методике, описанной в работах [2, 3]. Разработанная нами методика расчёта цветового контраста и сравнение последнего с выбранными ранее критериями утверждена и используется в КБ «Сухого». Начата работа и по использованию цветовых контрастов, рассчитанных в современных моделях цветового восприятия [4,5]. Создана программа на языке *Python*, позволяющая рассчитать цветовой сдвиг в системе *CIECAM02* для последующего сравнения с моделью проф. Матвеева и для других применений (например, когда важны так называемые эффекты, не проверенные в равноконтрастной системе проф. Матвеева: феномены Стивенса или Ханта и т.п. [4]). Используя расчёты цветового контраста, были также выбраны цвета для кодирования на экране информации о местности, её рельефе, условных обозначениях, надписях и символах. КБ даны рекомендации по использованию тех или иных цветов.

Исследования по выбору цветов для МКФ КБ «Сухого» предполагается продолжить используя полученные ранее результаты и по цветовой гармонии [6].

Однако, несмотря на широкое развитие экранов, воспроизводящих большое количество цветов и оттенков, остались некоторые задачи, где до сих пор актуально применение черно-белых изображений. Одна из них более подробно описана и решена ниже.

Исследования по восприятию градаций серого

При работе с КБ «Сухого», возникла потребность в составлении методики для возможности проверки и определения, настраиваемых на ЖК экранах различных градаций серого. Для этого КБ «Сухого» нам были предоставлены данные по диапазону яркостей от $2,5 \text{ кд/м}^2$ до 1400 кд/м^2 , который может воспроизводить конкретное СОИ. Прежде всего были проведены предварительные теоретические расчёты, но их результаты сильно зависели от условий наблюдений (причины: в кабине пилота находится индикатор на жидких кристаллах, а не на электронно-лучевых трубках, условия наблюдения несколько отличаются даже от телевизионных, может присутствовать засветка индикатора в широких пределах и т.д.).

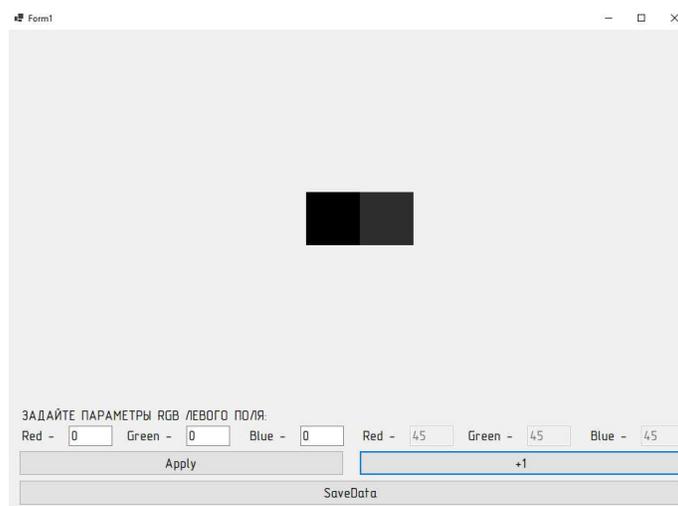


Рис. 1. Вид окна программы для исследования градаций серого

Для проведения эксперимента был разработан специальный программный продукт *Gray Grad*, написанный на языке программирования *C#*.

Вид окна данной программы представлен на рис. 1.

Эта программа давала возможность реализовать необходимую задачу, а именно: испытуемым предлагалось определить впервые различимые по яркости поля, находящиеся в оптическом контакте и на однородном сером фоне. Яркость экрана ноутбука, варьировалась с помощью изменения градации по *RGB* параметрам компьютера от $(0, 0, 0)$ до $(255, 255, 255)$.

Изначально два поля устанавливались на одинаковую яркость. Одно из полей менялось до тех пор, пока человек замечал разницу в яркости между двумя полями. Программа фиксировала текущие данные и перестраивала поля сравнения на новую яркость. Далее аналогичные действия повторялись до конца исследуемого диапазона.

Часть исследований проводилась на многофункциональном индикаторе (МФИ) КБ «Сухого», так как данный экран соответствовал устанавливаемым в кабине пилота и охватывал очень широкий диапазон яркости от $2,5 \text{ кд/м}^2$ до 1400 кд/м^2 . Однако на МФИ КБ «Сухого» удалось измерить только те градации, которые были заданы в индикаторе специальной тестовой программой. Большая часть наших исследований проводилась на ноутбуках, но с ограничением по яркости до 300 кд/м^2 .

В экспериментах приняло участие по 15 человек на каждом из двух ноутбуков. После статистической обработки, в том числе методом наименьших квадратов, полученных данных, были определены аппроксимации для зависимостей необходимого минимального шага между различными градациями от яркости и яркости каждой градации от номера градации. Данные зависимости были построены для квадратных тест-объектов с размерами 11 и 30 мм (для пилота это соответствовало угловым размерам не менее 1 и 3 градусов).

Результаты и их обсуждение

Нами была создана основная методика для настройки и проверки градаций серого, основанная на зависимостях, которые были получены в ходе экспериментального исследования. Ниже приведены усреднённые графики и аппроксимации (рис. 2 и 3).

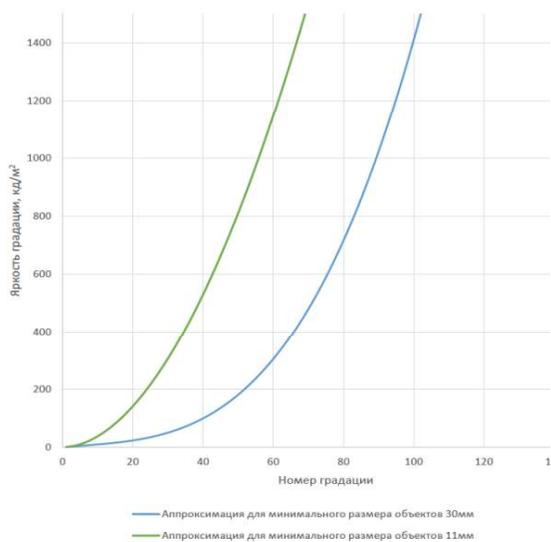


Рис. 2. Зависимость яркости градации от её номера

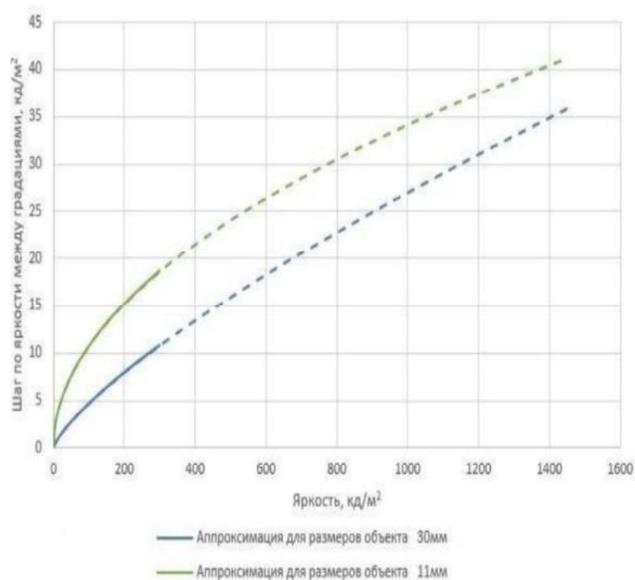


Рис. 3. Зависимость необходимого шага между различными градациями от яркости

$$L_n = 0,00161 \cdot (n + 4)^3 - 0,05121 \cdot (n + 4)^2 + 1,53525 \cdot (n + 4) - 6,53617, \quad (1)$$

$$L_n = 0,46534 \cdot n^{1,9075}, \quad (2)$$

где n – номер градации, а L_n – яркость градации,

(1) – уравнение аппроксимации для 30 мм (голубая зависимость на рис.2)

(2) – уравнение аппроксимации для 11 мм (зелёная зависимость на рис.2)

$$\Delta L_{min} = 0,14038 \cdot L^{0,76142}, \quad (3)$$

$$\Delta L_{min} = 1,0508 \cdot L^{0,50402}, \quad (4)$$

где ΔL_{min} – необходимый минимальный шаг между соседними градациями, а L – яркость предыдущей градации,

(3) – уравнение аппроксимации для 30 мм (голубая кривая на рис. 3),

(4) – уравнение аппроксимации для 11 мм (зелёная кривая на рис. 4).

Зависимости на рис. 2 и 3 будут использоваться в расчетах различных градаций для первоначальной настройки в ЖК средствах отображения информации. А зависимости для шага от яркости, рекомендуются ещё и для проверки уже настроенных на МФИ градаций.

Наши исследования позволили также установить, что при размере тест-объекта 30 мм в диапазоне яркости от 0 до 10 кд/м² число различных градаций на МКФ КБ «Сухого» – 30, в пределах от 10 до 100 кд/м² – 47 оттенков, а в диапазоне от 100 до 300 кд/м² – 25 градаций. Аналогичные числа для размера полей в 11 мм для этих же диапазонов существенно меньше: число различных градаций равно 4, 11 и 11 соответственно.

Выводы

Проведены исследования по восприятию человеком оттенков серого на ЖК средствах отображения информации. Предложена методика для настройки и проверки градаций серого, базирующаяся на экспериментальных зависимостях. Получены аппроксимации, для экспериментальных зависимостей яркости градации от её номера и зависимости необходимого минимального шага между соседними различимыми оттенками от яркости. Разработанная методика для настройки и проверки градаций серого утверждена и внедрена в работу КБ «Сухого» ПАО «Объединённая авиастроительная компания».

Список литературы

1. *Соснова Т.Л. и другие.* Цветовое оформление в железнодорожном транспорте. – М: Транспорт, 1984. – 200 с.
2. *Шубина А.С., Снетков В.Ю., Делян Р.А.* Определение необходимых цветовых контрастов в средствах отображения информации. – Сборник докладов, Москва, издательский дом МЭИ, 2020

3. *Шубина А.С., Снетков В.Ю., Делян Р.А., Кистенева А.В.* Обоснование необходимых цветового контраста и числа градаций серого в средствах отображения информации. – Сборник докладов, Москва, издательский дом МЭИ, 2021
4. *Фершильд М.Д.* Модели цветового восприятия. Второе издание 2004. Перевод А. Е. Шадрина. – 437 с.
5. CIE, 2022. CIE AD/TR(2) JTC 10 The CIE 2016 Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM16. Vienna: CIE AD/TR(2) JTC 10
6. *Снетков В.Ю., Шамонова А.А., Алексеев Е.А.* Использование цветовой гармонии для выбора цветов географических карт // Вестник МЭИ – М: Национальный исследовательский университет МЭИ, №4. 2018. – С. 105–122.

ОГЛАВЛЕНИЕ

О конференции «Инновационная светотехника России».....	3
Приветствие Организационного комитета конференции.....	5
О Международной комиссии по освещению. Российский национальный комитет МКО	7
Введение	9
Доклады участников конференции.....	12
<i>Ахмадов М.А., Иликеева Р.И., Попов О.А.</i> Исследование характеристик индукционных УФ ламп с замкнутыми разрядными трубками.....	13
<i>Будченков Д.И., Лебедкова С.М., Фомин А.Г.</i> Исследование предпочтительного сочетания цвета мебели и стен.....	17
<i>Ведяшкин В.А., Горошков А.П., Машин В.А., Байнева И.И.</i> Обзор возможностей современного моделирования световых приборов.....	21
<i>Ведяшкин В.А., Байнева И.И.</i> Экспериментальное исследование характеристик светодиодных СОВ-матриц	26
<i>Владимиров И.А., Снетков В.Ю.</i> Исследование особенностей цветового восприятия людьми разного пола	31
<i>Горошков А.П., Байнева И.И.</i> Разработка проекта освещения производственного помещения светильниками на основе светодиодов нового поколения	36
<i>Григорьев Н.Э., Фомин А.Г.</i> Система управления цветодинамическим освещением	41
<i>Гудемчук В.А., Романова Т.К.</i> Моделирование освещения ресторана	46
<i>Жбанова В.Л.</i> Цифровой колориметр для исследования объектов сложной формы и неравномерного цвета	51
<i>Железнов И.И., Попов О.А.</i> Исследование СВЧ коаксиального разрядного ртутного источника УФ излучения	58
<i>Заржецкий В.Д., Лебедкова С.М.</i> Установка для исследования соотношения яркостей при цветном освещении экстерьеров	63
<i>Иванушкин А.М., Горбунов А.А.</i> Исследование нормативной базы для светосигнального осветительного огня.....	67
<i>Козлов Е.П., Григорьев А.А., Рыбина В.А.</i> Определение цветовых порогов наблюдателя с использованием монохроматических источников излучения	71
<i>Ли О.Д., Лебедкова С.М.</i> Моделирование вариантов освещения скульптур в залах музея	75

<i>Лисовская О.О., Романова Т.К.</i> Моделирование освещения горнолыжного склона	80
<i>Маслюков И.Е., Чешев Д.Л., Онищенко А.К., Коржнева Т.Г.</i> Дизайн-проект зоны отдыха в общежитии для студентов Национального исследовательского Томского политехнического университета.....	84
<i>Молдыбаева К.Ж., Лебедкова С.М.</i> Моделирование освещения коворкинга	89
<i>Олейник И.А., Нестёркина Н.П., Журавлёва Ю.А.</i> Влияние формфактора на светораспределение современных светодиодных ламп-ретрофитов	94
<i>Омаров Э.Т., Григорьев А.А., Рыбина В.А.</i> Способ уменьшения погрешности установки на базе персонального компьютера при измерении пороговых контрастов зрительной системы человека	99
<i>Ровенская Т.С., Белоусов Н.А.</i> Источник видимого излучения на основе управляемых лазерных диодов для устройств пространственной спектральной развертки кадра с заданным спектральным разрешением.....	104
<i>Серикова В.С., Григорьев А.А., Рыбина В.А.</i> Исследование результатов преобразований хроматической адаптации	109
<i>Смолин К.А., Аириатов А.А.</i> Функционально-физический анализ экспериментальной установки для исследования влияния уровней освещения на производительность зрительных работ	113
<i>Стрижнёва М.А., Смирнов П.А.</i> Проектирование освещения для комнаты психологической разгрузки и отдыха	118
<i>Сурков И.В., Феник М.А., Рыбина В.А., Туркин А.Н.</i> Моделирование спектров излучения трехкомпонентных структур органических светодиодов	122
<i>Суркова А.Д., Смирнов П.А.</i> Восприятие распределения яркости цилиндрических объектов при их освещении	127
<i>Трущенко Е.Е.</i> Система архитектурно-художественного освещения объектов деревянного зодчества	131
<i>Чибиркина А.С., Фомин А.Г.</i> Проект многофункционального освещения больничного отделения	136
<i>Шубина А.С., Снетков В.Ю.</i> Исследование яркостных и цветовых параметров средств отображения информации в кабине пилота	141

Инновационная светотехника России

Сборник научных докладов
Всероссийской научно-технической конференции

22 сентября 2022 г., город Москва

Издательство «НИЦ АРТ»
198097, Санкт-Петербург, ул. М. Говорова, д. 29А
Тел. (812) 715-05-21
E-mail: izdat@nic-art.ru
<http://www.artnw.ru>

Подписано в печать 04.10.2022
Формат 60x84/16. Усл. п. л. 8,7.
Печать цифровая
Тираж 500 экз. Заказ 1409/22-И
ISBN 978-5-907615-05-2



9 785907 615052 >