

ISSN 2949-4958

ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Журнал РНК МКО

2/2024



УЧРЕДИТЕЛЬ



Российский национальный комитет
Международной комиссии по освещению
(РНК МКО)

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



VARTON



Издание выполнено при финансовой поддержке
ООО «Брайтэлек», ООО «Светогор», ООО «Вартон», ООО «Арлайт РУС», ООО «Гефера Медиа»

2 / 2024

ISSN 2949-4958

**ИННОВАЦИОННАЯ
СВЕТОТЕХНИКА**

ЖУРНАЛ
РНК МКО

LIGHTING ENGINEERING
INNOVATIONS

CIE NC RU
JOURNAL

**Инновационная светотехника:
журнал РНК МКО**

№ 2 / 2024

ISSN 2949-4958



Учредитель:

Российский национальный комитет
Международной комиссии по
освещению (РНК МКО)

129626, Москва, 1-й Рижский пер., 6
<https://cie-russia.ru>

Главный редактор — П.А. Федорищев

Тел.: +7 985 428-20-00

E-mail: info@cie-russia.ru

Сдано в набор: 04.10.2024

Подписано в печать 15.11.2024

Формат: 70x100/16. Усл. п. л. 9,1.

Печать цифровая. Тираж 500 экз.

Заказ № 0410/24-1-И

156 с.

Отпечатано с готовых диапозитивов.

Издательство Ниц Арт: 198095,

г. Санкт-Петербург, ул. Маршала

Говорова, 29^а, тел.: +7(812)715-05-21

e-mail: izdat@nic-art.ru

<http://www.artnw.ru>

Журнал Российского
национального комитета
Международной комиссии по освещению

Редакция:

Главный редактор — П.А. Федорищев
Ответственный редактор — А.С. Зиничева

Редакционная коллегия:

А.Г. Шахпарунянц —
кандидат технических наук,
президент РНК МКО.

В.П. Будак —
доктор технических наук, профессор,
академик АЭН РФ.

Р.И. Столяревская —
доктор технических наук.

А.А. Григорьев —
доктор технических наук, профессор.

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

© ООО «РНК МКО, 2024

© Издательство «НИЦ АРТ», 2024



Павел ФЕДОРИЩЕВ

Главный редактор,
исполнительный директор
Российского национального
комитета МКО

От редактора

В 2023 году Международная комиссия по освещению (МКО) представила миру свою обновленную Исследовательскую стратегию, охватывающую период до 2027 года и направленную на улучшение световой среды и достижение целей устойчивого развития ООН.

Стратегия призывает исследователей со всего мира сосредоточиться на ключевых темах, формирующих фундамент для будущих международных стандартов и рекомендаций МКО.

Стратегия, основанная на двух общих принципах — цифровой трансформации и инклюзивности, — определяет шесть актуальных направлений исследований. Они охватывают вопросы измерений и калибровки, интегративного освещения, экологически ответственного наружного освещения, фотобиологии в сельском хозяйстве и аквакультуре, безопасного и полезного применения оптического излучения, а также измерения, моделирования, восприятия и воспроизведения цвета.

Особое внимание уделяется вопросам экологии света и интегративному освещению — сравнительно новому термину, описывающему световые решения, «объединяющие как визуальные, так и не визуальные эффекты и оказывающие физиологическое и/или психологическое воздействие на людей». Термин «интегративное освещение» впервые появился в 2020 году в новом издании Международного светотехнического словаря, а в 2023 году был включен в ГОСТ Р МЭК 60050-845-2023 «Освещение. Термины и определения». Возможно, поэтому «интегративное освещение» ещё не стало повсеместно употребляемым термином, хотя его главный принцип — равное внимание к визуальному и к не визуальному влиянию света на человека — отражён в целом ряде докладов молодых учёных, публикуемых в нашем журнале.

Хочется надеяться, что темы, поднятые в стратегии МКО и нашедшие отражение на страницах нашего журнала, вдохновят читателей и авторов на новые исследования, разработки и проекты, способствующие созданию более комфортной, безопасной и устойчивой световой среды для всех.

СОДЕРЖАНИЕ

Исследовательская стратегия Международной комиссии по освещению	7
Светотехника	21
<i>Дворецкова Э.А., Лезжова Е.С., Макаров Д.Н.</i> Исследование субъективного восприятия художественных графических произведений при разных условиях освещения и яркостных контрастах.....	22
<i>Железнов И.И., Будак В.П.</i> Особенности моделирования параметров безэлектродной СВЧ ртутно-аргоновой УФ лампы низкого давления	28
<i>Козлов Е.П., Григорьев А.А., Рыбина В.А.</i> Сравнительный анализ современных технологий управления уличным освещением и их влияние на энергоэффективность.....	36
<i>Кухновец Е.К., Снетков В.Ю.</i> Освещение и обеззараживание помещений санатория	42
<i>Чижова Д.А., Алексеев Е.А.</i> Разработка консольного прикроватного светильника для медицинских учреждений с функцией биосветовой коррекции	49
<i>Шавкунов А.Д., Иликеева Р.А.</i> Схема включения безэлектродной бесферритной индукционной ртутной лампы низкого давления, работающей на частоте электрического поля 1,7 МГц	55
<i>Шестерикова И.С., Фомин А.Г.</i> Вопросы проектирования внутреннего освещения морских пассажирских лайнеров	61
Архитектура и световой дизайн	67
<i>Иванова А.Е., Макаров Д.Н.</i> Проектирование наружного освещения с применением виртуальной реальности.....	68
<i>Краюшкина А.И., Заева-Бурдонская Е.А., Рузова Е.И.</i> Проектные принципы формирования среды фестиваля света в городе Великий Новгород.....	75
<i>Сахаров П.М., Карпенко В.Е.</i> Общие подходы к формированию световой среды прибрежных пространств г. Владивостока (на примере бухты Диомид).....	80
<i>Султанов М.И., Алексеев Е.А.</i> Приёмы светового дизайна при оформлении интерьерной системы освещения	87

Доклады на английском языке	95
<i>Auyeung K.</i> Whisper — Mother-baby friendly bedroom lighting system design	96
<i>Ivanova A.E., Makarov D.N.</i> Virtual reality for designing outdoor lighting	101
<i>Kirillov I.Eu., Snetkov V.Yu.</i> Choice of Color Design for a Musical Fountain.....	109
<i>Kukhnovets E.K., Snetkov V.Yu.</i> Selection of lighting installations and colour design of the sanatorium premises.....	115
<i>Liu Y., Liang Z.</i> Research on the prevention and control of urban nighttime light pollution from the dark sky protection: a case study of shenzhen xichong international dark sky community.....	121
<i>Semba R., Maruyama Y., Nakajima H., Kuroha M., Matsukawa S., Tsuchihashi G., Takao M.</i> Diurnal changes of the pupillary response to flickering light stimuli in human	127
<i>Sych N.V., Snetkov V.Yu.</i> Consideration of human mesopic vision for street lighting design.....	133
<i>Wang Y.N., Wang T.Y., Wei L., Shao R.D., Hao L.X.</i> Effects of dynamic coloured lighting on mood of occupants during the antarctic polar night	139
<i>Zhang S., Su H., Wu M, Yang B.</i> An field study on energy usage and human comfort in a smart lighting office	145



VARTON

Системообразующая компания отрасли, один из крупнейших российских производителей современных энергосберегающих решений на рынке профессионального светодиодного освещения и систем управления зданиями и освещением.

Многолетняя экспертиза и опыт в области светотехники. Мы предлагаем решения для разных сфер бизнеса, которые учитывают современные требования к качеству, безопасности и дизайну.

ГБОУ «Бауманская инженерная школа № 1580 в проекте ЖК «Символ», г. Москва
Примененное оборудование: светильники Cosmo от VARTON

>20 000

SKU

AWADA

собственная IoT-система
по управлению освещением

>15 000

выполненных
проектов

PLUG-IN

DIALux
lanoCAD
Revit
Light-in-Night Road

VARTON



ГАГАРИНСКИЙ
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД
с 1960 года



AWADA



ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТРАТЕГИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ ПО ОСВЕЩЕНИЮ НА 2023–2027 ГГ.

Введение

Международная комиссия по освещению (МКО) — глобальная некоммерческая организация, занимающаяся распространением знаний и обеспечением стандартизации для улучшения световой среды. Свет и тьма формируют основы ритма повседневной жизни планеты, и свет раскрывает детали окружающего нас мира. МКО стремится к справедливому и ответственному удовлетворению потребности в надлежащем свете там и тогда, где он необходим. Это стремление является критически важной составляющей ответа человечества на глобальные экологические кризисы, в том числе изменение климата.

Более тысячи экспертов участвуют в комитетах МКО, чтобы добиться мирового научного консенсуса по фундаментальным и практическим вопросам света и освещения. Результаты этой работы публикуются в форме технических заметок, технических отчетов и международных стандартов МКО. Постоянный прогресс в области научных знаний обеспечивает основу для создания новых и актуализации уже опубликованных документов МКО. **Исследовательская стратегия МКО** определяет темы, которые исследователям необходимо изучать сегодня, чтобы знания были доступны для формирования следующего поколения отчетов и стандартов МКО. Впервые опубликованная в 2015 г. **Исследовательская стратегия МКО** получила небольшие обновления в 2019 и 2020 годах. Издание 2023 года было существенно переработано и отражает стремление МКО внести вклад в достижение **целей устойчивого развития (ЦУР)**, установленных *Организацией Объединенных Наций* на период до 2030 года, и, в частности, следующих:



Рис. 1. ЦУР: 2 – ликвидация голода; 3 – хорошее здоровье и благополучие; 4 – качественное образование; 6 – чистая вода и санитария; 8 – достойная работа и экономический рост; 9 – индустриализация, инновации и инфраструктура; 10 – уменьшение неравенства; 11 – устойчивые города и населенные пункты; 12 – ответственное потребление и производство; 13 – борьба с изменением климата; 14 – сохранение морских экосистем; 15 – сохранение экосистем на суше.

Стратегия организована по тематическому принципу и включает в себя два общих принципа, относящихся ко всем исследовательским направлениям, а также шесть актуальных тем, характеризующих конкретные направления исследований. Там, где это возможно, в тексте далее в скобках указаны ЦУР, достижению которых будет способствовать работа в соответствующем направлении.

1. Общие принципы:
 - 1.1 Цифровая трансформация метрологии, науки и промышленности;
 - 1.2 Достижение инклюзивного и справедливого освещения.
2. Актуальные темы:
 - 2.1 Достижения в области измерений и калибровки;
 - 2.2 Интегративное освещение для людей;
 - 2.3 Высококачественное наружное освещение, отвечающее экологическим требованиям;
 - 2.4 Основы фотобиологии для сельского хозяйства и аквакультуры;
 - 2.5 Обеспечение возможности применения безопасного и полезного оптического излучения;
 - 2.6 Измерение, моделирование, восприятие и воспроизведение цвета.

Исследователи из всех областей науки, техники, медицины, психологии, дизайна, информационных технологий, промышленности и смежных областей могут черпать вдохновение в этих темах. МКО призывает всех и каждого, кто финансирует исследования, поощрять исследования в этих направлениях. Свет и освещение касаются всех аспектов жизни на Земле, и успешное преодоление современных вызовов потребует знаний, полученных при изучении указанных направлений. Участие исследователей в соответствующих Технических комитетах (ТК) МКО на любом этапе исследовательского процесса должно быть частью планов по накоплению и передаче исследовательских знаний.

1. Общие принципы

Вне зависимости от темы успешное достижение **ЦУР** потребует внимания:

- к обеспечению разнообразия, справедливости и инклюзивности;
- к разработке передовых цифровых инструментов для обмена информацией и знаниями.

Эти две темы должны стать основой для исследований по всем актуальным ЦУР, представленным ниже.

1.1. Цифровая трансформация метрологии, науки и промышленности



XXI век ознаменован цифровизацией процессов, машинным обучением и искусственным интеллектом. При правильном использовании цифровые технологии могут способствовать созданию устойчивой инфраструктуры и совершенствованию общества (ЦУР 8, ЦУР 9). Освещение играет важную роль в энергетической инфраструктуре городов (ЦУР 11). Например, вдумчивое проектирование систем дневного освещения может снизить потребление энергии и ресурсов (ЦУР 12, ЦУР 13). МКО подписала «Совместное заявление о намерениях по цифровой трансформации международной научной инфраструктуры и инфраструктуры качества»¹. Заявление подчеркивает важность поддержки новых разработок, внедряемых МКО как членом Международного комитета мер и весов (CIPM) и Целевой группы по Цифровой СИ (CIPM-TG-DSI). Целевая группа по цифровой СИ планирует разработать и внедрить единый и безопасный формат обмена данными во всем мире, основанный на международной системе единиц (ЦУР 10). Возможными примерами деятельности являются:

- определение новых форматов данных;
- методы, обеспечивающие соответствие терминов, определений и стандартов в целом;
- доступность стандартов и технических отчетов для машинной обработки;
- предоставление наборов справочных данных и показателей оценки.

Для поддержки цифровой трансформации МКО призывает исследователей:

- собирать свои данные в соответствии с признанными на международном уровне моделями данных;
- представлять отчеты в соответствии с признанными на международном уровне методическими рекомендациями, включая принципы *FAIR* (*Findability, Accessibility, Interoperability, Reusability* – «находимость, доступность, совместимость и переиспользование»), для обеспечения отслеживаемости, сопоставимости и повторного использования результатов научных исследований.

Для достижения максимальной эффективности цифровой трансформации необходимо понимать потребности заинтересованных сторон, и цифровизацию осуществлять при всеобщем сотрудничестве.

¹ См.: <https://www.bipm.org/en/-/2022-08-25-cie-digital-statement>

1.2. На пути к инклюзивному и справедливому освещению



Исследовательская практика развивалась с начала и до середины XX в., когда МКО разработала свои первые согласованные документы, в том числе публикацию «Относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения $V(\lambda)$ ». При невысоком уровне глобализации обобщение данных для среднестатистического наблюдателя делались на основе относительно небольшой выборки, состоящей в основном из мужчин европеоидной расы из Северной Америки или Европы.

Однако, теперь мы понимаем, что этот подход исключает большую часть населения Земли. Ограниченная выборка не может в полной мере охарактеризовать целую популяцию, а определение по ней среднего значения может привести к искажению центральной тенденции всей совокупности на неопределённую величину. Как результат – рекомендации по освещению, основанные на такой ограниченной выборке, могут оказаться неподходящими для части населения, которая не участвовала в исследовании. Это приводит к непреднамеренному, но систематическому неравенству, которое может спровоцировать негативные последствия для здоровья и качества жизни людей.

Чтобы предотвратить сохранение подобной практики, МКО рекомендует следующее:

- МКО призывает исследовательское сообщество практиковать инклюзивную науку, а именно, стараться включать разнообразную выборку: по возрасту, гендеру, зрительным способностям, культурной идентичности, личностным, медицинским и другим особенностям (ЦУР 10). Следует:
 - Проводить повторные исследования в других лабораториях в другом географическом регионе с другими культурными особенностями населения. Например, привлекать к участию исследователей из стран южного полушария, а также стран, которые исторически игнорировались или в которых отсутствует исследовательская инфраструктура. Для этого могут потребоваться новые механизмы финансирования.
 - Изучать непредставленные ранее группы для пополнения глобальной базы знаний данными по разнообразным индивидуумам, людям с различными зрительными способностями и чувствительностью.

Большее разнообразие требуется и при планировании исследований на этапах постановки задачи, определения условий проведения исследования и представления результатов. Например, для работ по естественному освещению важными факторами являются разнообразие географического положения, сезона и времени суток. Притом фиксация результатов, описывающих различные

модели поведения (например, физиологические показатели в сочетании с когнитивными показателями и самоотчетами об эмоциональном состоянии) поможет существенно расширить базу знаний (ЦУР 3, 8, 9). Таким образом, возможно повысить уровень обобщаемости выводов для их последующего мирового применения.

Исследовательским группам также может не хватать разнообразия несмотря на то, что более разнообразные команды приводят к большему количеству интересных результатов (ЦУР 10).

- МКО рекомендует всем исследовательским группам, независимо от темы, помнить о равенстве и разнообразии в своем составе, активно стремясь включить в него самых разных членов, включая пожилых и молодых исследователей, людей разного пола и культурной идентичности, а также отличных друг от друга по другим характеристикам.

2. Актуальные темы

2.1. Достижения в области измерений и калибровки



Для соответствия правилам системы международной торговли необходимы отслеживаемые и откалиброванные измерения характеристик светотехнического оборудования и систем. По мере развития оборудования и систем должны совершенствоваться и измерительные системы. Стоит заметить, что исследователи в области метрологии могут найти вдохновение во всех актуальных темах, рассматриваемых в данном документе.

Актуальными пробелами в метрологических исследованиях являются следующие:

1. На протяжении последних ста или более лет фотометры (люксметры) и спектрометры (колориметры) калибровались с использованием ламп накаливания, которые долгое время были дешевыми, легкодоступными и надежными. Однако, в последние десятилетия светодиодные источники света и световые приборы стали доминировать на рынке из-за хорошей энергоэффективности и длительного срока службы. В то же время производство и использование ламп накаливания сократилось до такой степени, что затрудняет их использование для научных целей.

Существует потребность в новых эталонных светодиодных источниках света, которые могут заменить лампы накаливания в качестве стандартных источников. МКО недавно опубликовала эталонный спектр светодиодов для калибровки фотометра (МКО 251:2023) и приветствует разработку эталонных источников, обеспечивающие этот спектр.

Однако, не закрыта потребность в светодиодных источниках непрерывного излучения, охватывающих УФ и ИК области спектра, для калибровки спектрорадиометров.

Это поможет обеспечить высокое качество калибровки и поверки испытательного и измерительного оборудования, чтобы испытательные лаборатории могли осуществлять проверку представленной на рынке продукции (ЦУР 8), на соответствие ожиданий потребителей и выполнение задач, для решения которых она предназначена (ЦУР 12).

2. Для обеспечения правильной и безопасной работы новой светотехнической продукции (ЦУР 12) необходимо проведение качественных измерений их характеристик. Например, требуются исследования характеристик индикаторов на лобовом стекле, гарнитур дополненной и виртуальной реальности, а также дозиметров для измерения индивидуального воздействия оптического излучения и устройств для точного измерения временной модуляции света (*TLM – Temporal Light Modulation*) (ЦУР 3).
3. Мир становится все более взаимосвязанным благодаря датчикам, которые отслеживают освещение на месте и передают данные в центральные системы управления для регулировки уровня освещённости и, в некоторых случаях, характера освещения (например, настраиваемое освещение с регулируемой коррелированной цветовой температурой). Некоторые из этих датчиков также активно измеряют комбинированное освещение от искусственных источников и естественного света с целью оптимизации освещения в соответствии с задачами, индивидуальными пожеланиями или временем суток (ЦУР 12). Специализированные приложения могут также включать оптические системы для телекоммуникационных и медицинских целей (ЦУР 3). Как датчики, так и системы управления являются активными областями исследований и разработок в области общественной инфраструктуры.
4. Для обеспечения надлежащей работы этих систем требуются откалиброванные датчики, что в цифровом мире означает машиночитаемые сертификаты калибровки. Исследования и разработки, направленные на разработку подходящих цифровых компонентов для измерения и калибровки и их внедрение в сложные системы управления и автоматизации зданий, будут иметь основополагающее значение для обеспечения разумной эксплуатации домов, сооружений и общественной инфраструктуры, избегая при этом чрезмерного использования ресурсов (ЦУР 12).

2.2. Интегративное освещение для людей



Последние достижения в понимании работы фоторецепторов глаза человека показали, что свет влияет на многие физиологические и психологические

процессы. *Интегративное освещение*, термин, добавленный в *Международный светотехнический словарь* в 2020 году, отражает это понимание: «Освещение, объединяющее как визуальные, так и невизуальные эффекты и оказывающее физиологическое и/или психологическое воздействие на людей»². Современные рекомендации по освещению рабочих мест являются хорошим подспорьем для поддержания здоровья и хорошего самочувствия, но многое еще предстоит узнать о влиянии света на процессы, выходящие за рамки визуального восприятия, прежде чем можно будет разработать всеобъемлющие рекомендации и стандарты.

В качестве примеров приоритетных тем исследований можно привести следующие:

1. Свет имеет основополагающее значение для функционирования и благополучия человека, что делает это направление исследований ключевым фактором достижения хороших результатов в области здравоохранения (ЦУР 3). Тема этого исследования охватывает весь спектр психологических и физиологических эффектов света: от определения необходимого суточного соотношения интенсивности, спектрального распределения, продолжительности света и тьмы для циркадной регуляции – до понимания того, как световая среда может вызывать дискомфорт и нарушения зрения, а также важности эстетики в повседневной жизни и её влияния на самочувствие. Новые темы в этой области включают невизуальное воздействие оптического излучения в ближнем инфракрасном диапазоне на физиологию, здоровье и поведение человека, а также влияние временной модуляции света на когнитивные способности и нейрофизиологию. Фактические данные из этой области могут служить основой для рекомендаций по созданию благоприятных условий труда, способствующих благополучию работников и повышению их производительности труда (ЦУР 8, ЦУР 9).
2. Существуют пробелы в понимании потребностей различных людей, проживающих вне умеренных широт северного полушария.
3. Для обеспечения полностью интегративного освещения будет востребовано проектирование освещения с учётом как индивидуальных, так и групповых потребностей (ЦУР 3, 10), что станет фундаментальным изменением в философии дизайна и серьезной задачей исследований в области дизайна освещения.
4. Более эффективное использование естественного света в зданиях требует компромиссов с другими строительными требованиями (например, с требованиями по отоплению/кондиционированию и вентиляции), и создание баланса между поддержанием подходящих условий для человека и экономией электроэнергии. Для реализации концепции жизнеспособных, безопасных, инклюзивных и устойчивых зданий, городов и сообществ

² Определение цитируется по ГОСТ Р МЭК 60050-845-2023 «Освещение. Термины и определения» (прим. ред.)

шесть (ЦУР 11), которые также ответственно используют ресурсы (ЦУР 12), потребуются междисциплинарные исследования.

5. Достижения в области светодиодных технологий и технологий управления освещением сделали возможными установки динамического электрического освещения – например, системы электрического освещения, которые обеспечивают различные спектры и уровни освещённости либо по расписанию, либо по требованию, – но остается открытым вопрос, достаточны ли преимущества использования этих технологий, чтобы оправдать их стоимость и сложность. Преимущества могут быть разными для работников ночной смены и для тех, кто работает в дневную смену. Фундаментальные исследования могут дать нам информацию о необходимости определённых комбинаций спектра, интенсивности, продолжительности и времени для достижения желаемых результатов, а прикладные исследования освещения необходимы, чтобы дать нам информацию об устойчивости этих технологий.

2.3. Высококачественное наружное освещение, отвечающее экологическим требованиям



Архитектурное и утилитарное наружное освещение может быть эстетичным и при этом повышать безопасность, но оно требует затрат и может отрицательно влиять на окружающую среду и излишне засвечивать ночное небо.

Освещение дорог и общественных городских пространств обеспечивает безопасное передвижение после наступления темноты и создание приятной атмосферы для ночных мероприятий на открытом воздухе. Среди положительных эффектов – сокращение дорожно-транспортных происшествий, повышение личной безопасности и содействие активному передвижению – в частности, пешим прогулкам и велоезде. Содействие активным передвижениям, в свою очередь, вносит вклад в более здоровый образ жизни (ЦУР 3) и снижает количество дорожных заторов и уровень загрязнений, связанных с моторизованными транспортными средствами (ЦУР 11).

Соблюдение баланса между потребностями различных наблюдателей и экологическими соображениями требует знаний по следующим темам:

1. Свет – это понятие, применяемое, прежде всего, с учётом особенностей человеческого зрения, но использовать $V(\lambda)$ к растениям и животным некорректно. Чтобы должным образом сбалансировать потребности природы и человека, нам требуется больше информации о воздействии оптического излучения на растения и животных, а также новые величины и единицы измерения, соответствующие стандарту СИ, для обеспечения основ экологически безопасного освещения (ЦУР 14, 15).
2. Необходимо понять, как должны измениться критерии проектирования освещения, чтобы улучшить качество освещения с точки зрения высокой

визуальной эффективности, хорошего визуального комфорта и, где это применимо, эстетической ценности. Исследования в этой области должны включать изучение положения наблюдателя, угла наблюдения, типов визуальных задач, отражающих свойств освещенной среды, других источников освещения поблизости (включая светящиеся вывески), погодных условий, а также – для утилитарного наружного освещения – количества и относительной скорости участников дорожного движения (ЦУР 3, 11).

3. Освещение, адаптированное к реальным внешним условиям (например, дорожным ситуациям, а также требованиям и предпочтениям различных участников), немислимо без использования сложных технологий управления освещением для оптимальной адаптации параметров освещения и использования средств коммуникации для обеспечения взаимодействия освещения с другими службами в рамках концепции «умного города». Внедрение новых передовых технологий, таких как *Li-Fi (Light Fidelity)*, беспилотных автомобилей и летательных аппаратов, умных колонок или искусственного интеллекта, являются многообещающей основой для разработки инновационных высокотехнологичных осветительных приборов и создания прочных и надежных сетей для устойчивой инфраструктуры (ЦУР 9, 11). Доступность, экономия энергии, смягчение воздействия на окружающую среду, обеспечение безопасной и здоровой городской среды являются основными целями (ЦУР 3, 8, 13). Высококачественное освещение должно удовлетворять особым потребностям людей всех возрастов и способностей (ЦУР 10).
4. Качество освещения является проблемой для рабочих мест на открытом воздухе в ночное время, когда темный фон (близкая к нулю фоновая яркость) увеличивает риск появления бликов, особенно в сочетании с требованиями к высокому уровню освещенности на относительно больших площадях. Точное регулирование освещенности, адаптивное управление освещением и предотвращение попадания посторонней засветки – вот возможные общие решения, требующие специальных исследований с учётом различных задач, настроек и местоположений.
5. Нежелательные последствия навязчивого света включают снижение качества астрономических наблюдений из-за засветки неба, воздействие на здоровье людей и нарушение сред обитания флоры и фауны на уровне как отдельных видов, так и экосистем. Электрическое освещение изменяет циклы размножения и опыления, поведенческие модели и ритмы, уязвимость перед хищниками и уровень гормонов у широкого набора видов растений и животных. Из-за огромного разнообразия видов проблема сложна и потребует проведения исследований во многих местах с привлечением многих специалистов-биологов. Как и во всех актуальных темах, ключевыми параметрами, которые необходимо изучить, являются спектр, интенсивность, продолжительность, время и характер воздействия света (ЦУР 3, 14, 15).

2.4 Основы фотобиологии для сельского хозяйства и аквакультуры



«Внутреннее фермерство», включая аквакультуру, является одновременно средством смягчения последствий изменения климата и адаптации к нему, предоставляя возможность выращивать продукты питания и разводить животных в чистых условиях, часто недалеко от места их потребления. Это может привести к улучшению питания местного населения, особенно в местах, удалённых от регионов с более умеренным климатом (например, арктических районов, пустынь), а также в зимние месяцы в регионах с умеренным климатом, и может снизить потребность в транспортировке на большие расстояния из районов производства продовольствия в места потребления продуктов питания (ЦУР 2, 10). Строительство сельскохозяйственных объектов закрытого типа на заброшенных землях или на бывших промышленных объектах может снизить необходимость разрушения существующих экосистем для расширения обрабатываемых земель (ЦУР 12). Успех этих работ будет в значительной степени зависеть от успешного создания энергоэффективных условий для соответствующих видов растений или животных.

Примерами конкретных исследовательских тем являются:

1. Независимо от того, находятся ли животные в помещении постоянно или только некоторое время, условия световой среды в большинстве животноводческих помещений значительно отличаются от естественной среды, в которой эволюционировали различные виды животных (домашняя птица, свиньи, коровы, овцы, рыбы, насекомые и т.д.). Это может негативно сказаться на благополучии животных³. Правильная спецификация и оценка осветительных установок могут обеспечить светотехнические характеристики, комфорт и обеспечение благополучия в таких помещениях, сбалансировав потребности как животных, так и людей, которые за ними ухаживают. Поскольку о требованиях к освещению для различных видов растений известно немного, получение этих знаний требует значительных исследовательских усилий (ЦУР 14, 15).
2. Ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение используются в сельском хозяйстве для содействия быстрому и эффективному росту растений и грибов. Характеристики используемого оптического излучения изменяются на разных этапах цикла роста растений, поскольку им может потребоваться разное время для роста корней, листьев, цветов и плодов. Оптическое излучение также можно использовать для защиты растений (отпугивания вредителей) или облегчения их опыления (привлечения на-

³ Благополучие животных (Animal welfare) — термин, означающий заботу об условиях жизни животных с учётом их физических, этологических и других естественных потребностей (прим. ред.)

секомах). Производственные мощности также могут быть использованы для выращивания растений от семян до стадии, на которой их можно будет высаживать в дикой природе для восстановления популяций растений и борьбы с опустыниванием и утратой биоразнообразия. Что касается растений и животных, мы находимся на начальной стадии понимания того, какое оптическое излучение требуется для каждого конкретного вида (ЦУР 14, 15).

3. По мере расширения наших знаний в этих областях нам будет необходимо разрабатывать подходящие термины, величины, протоколы измерений и стандарты калибровки, соответствующие стандартам СИ, для поддержки сельского хозяйства и аквакультуры (ЦУР 9).

2.5. Обеспечение возможности применения безопасного и полезного оптического излучения



Влияние оптического излучения на биологические – помимо зрительных – процессы является одним из факторов, определяющими здоровье и благополучие (ЦУР 3), и ожидается, что будут разработаны новые стандарты в средне- и долгосрочной перспективе.

1. В дневное время высокий уровень освещённости помогает нам сохранять бдительность и «синхронизировать» наши внутренние часы с солнечным днём и сезонными изменениями. Более низкий уровень освещённости вечером «сигнализирует» об окончании рабочего дня, а ночная темнота способствует хорошему сну, во время которого происходит восстановление организма. Всё это известно, но остается большая неопределённость в отношении того, какое количество света, какого спектрального состава, как долго и в какое время требуется, а также в отношении правильного способа обеспечения такого воздействия с наименьшими затратами энергии.
2. В последние годы заболеваемость миопией (близорукостью) заметно возросла. Миопия, как правило, возникает в школьные годы и прогрессирует в раннем взрослом возрасте, что увеличивает риск слепоты и других осложнений со стороны органов зрения в дальнейшей жизни. Учитывая возможные пожизненные последствия неадекватного воздействия света в детстве, знания по этой теме необходимы в срочном порядке (ЦУР 3).
3. Источники света с изменяющейся во времени мощностью могут негативно влиять на зрительное восприятие, когнитивные способности, движения глаз и мозговую активность. Некоторые люди более чувствительны к этим воздействиям, чем другие, но остается неопределённость в отношении того, кто наиболее чувствителен, и многое предстоит узнать о

точных характеристиках *временной модуляции света*, которые вызывают наибольшие проблемы (ЦУР 3, ЦУР 8).

4. Современные источники света исключают излучение как в коротковолновом, так и в длинноволновом диапазоне оптического излучения, главным образом для экономии энергии и частично для уменьшения рисков. Ультрафиолетовое излучение и очень интенсивное коротковолновое излучение могут привести к неблагоприятным актиническим эффектам: канцерогенезу, кожной эритеме (солнечный ожог) и повреждению глаз в результате фотокератита и воздействия синего света⁴. Однако регулярные низкие дозы УФ излучения благотворно влияют на выработку витамина D в коже, и есть некоторые доказательства благотворного воздействия УФ излучения на психическое состояние и контроль кровяного давления. Правильное воздействие, позволяющее сбалансировать преимущества и риски актиничной радиации, пока неизвестно. Здесь было бы полезно расширить сотрудничество между специалистами в области медицины и освещения (ЦУР 3).
5. Кроме того, ультрафиолетовое излучение может использоваться для санитарных целей, обеззараживания воздуха и поверхностей от вирусов и других патогенных микроорганизмов, а также для очистки воды. Определение характеристик ультрафиолетовых устройств и способов их безопасного использования в жилых помещениях представляет интерес для улучшения общественного здравоохранения. В свою очередь, более широкое использование бактерицидного УФ-излучения потребует усовершенствования протоколов УФ-радиометрии и калибровки (ЦУР 6).
6. Излучение ближнего ИК диапазона (оптическое излучение в диапазоне приблизительно от 780 до 1000 нм) было исключено из современных источников света, поскольку фоторецепторы глаз человека нечувствительны в этом диапазоне длин волн. Тем не менее, недавние исследования (включая целенаправленное использование ИК излучения в медицинских целях) показали, что оно может оказывать благоприятное биологическое воздействие при общем освещении, возможно, за счет поглощения кожей или тканями. Более глубокое понимание эффектов ИК излучения позволит расширить наши знания о правильном освещении и разработать системы освещения для обеспечения их применения (ЦУР 3).
7. В медицине оптическое излучение широко применяется для лечения отдельных заболеваний. Хорошо известны примеры:
 - использования светотерапии для лечения расстройств настроения и сна;
 - применения направленного излучения ближним ИК для заживления ран;

⁴ Для более полного понимания феномена «синего света» рекомендуем ознакомиться с Официальной позицией МКО по опасности синего света, выпущенной в апреле 2019 года и суммирующей международный научный опыт по изучению этой проблемы. Текст (в том числе и официальный перевод на русский язык) опубликованы на сайте МКО - <https://cie.co.at/publications/position-statement-blue-light-hazard-april-23-2019> (прим. ред.)

- комбинированной терапии с использованием псоралена и УФ облучения для лечения кожных заболеваний.

Дальнейшие исследования лежащих в основе этих механизмов могут повысить эффективность лечения (ЦУР 3).

- Исследователи нуждаются в надежных и хорошо откалиброванных фотометрах и носимых световых приборах с индивидуальной спектральной и направленной чувствительностью, которые учитывают как зрительные, так и другие нейроэндокринные реакции на свет (включая, в том числе, циркадную регуляцию). Многое ещё предстоит узнать о спектральных функциях и местах носки, соответствующих различным процессам, разработать подходящие измерительные величины и единицы измерения, а также создать практические устройства, которые будут отслеживать оптическое излучение для поддержания благополучия и здоровья так же, как и другие устройства и платформы для персонального мониторинга здоровья (ЦУР 3).

2.6. Измерение, моделирование, восприятие и воспроизведение цвета



Как промышленность, так и частные лица придают большое значение цветопередаче источников света, используемым материалам и всевозможным дисплеям. Определение цвета и внешнего вида объектов и изображений способствует улучшению повседневного самочувствия, например, улучшая качество изображения в онлайн-коммуникациях, увеличивая возможности медицинской диагностики и обеспечивая контроль качества на производстве (ЦУР 3, 8, 9, 12).

Хотя колориметрия, как правило, является устоявшейся дисциплиной с коммерческими приборами для измерения спектральных величин, в наших фундаментальных знаниях и требованиях есть пробелы, возникшие с развитием новых технологий, например, твердотельных источников света с узкими полосами излучения. МКО стремится привлечь внимание исследователей к определению показателей, инструментов измерения, методов переноса, чтобы охарактеризовать современные поверхности и обеспечить прослеживаемость измерений в системе СИ, тем самым поддерживая контроль качества. Конкретные целевые области включают:

- Достижения в понимании физиологии зрения способствовали разработке колориметрии МКО, основанной на фундаментальных функциях колбочек, но нам предстоит ещё многое узнать о роли светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки (*ipRGC*). Межиндивидуальное различие остается недостаточно известным, особенно в части его влияния на метамеризм наблюдателя. Понимание этой вариабельности является шагом к снижению неравенства путем создания системы, способной учитывать

различия в зрении (ЦУР 10) и поддерживает общую тему 1.2 «Инклюзивное и справедливое освещение».

2. Измерение параметров визуального восприятия – в частности, глянца, текстуры, прозрачности, блеска и белизны, а также большее число геометрических параметров, чем это было принято ранее, – по-прежнему имеет первостепенное значение для исследований (ЦУР 9, 12).
3. Эксперты не пришли к единому мнению о том, какая геометрия функции распределения двунаправленного отражения (BRDF) (размер, поляризация, форма и однородность освещённой области) будет подходящей для стандартных образцов (ЦУР 9). Кроме того, если использовать упрощенную геометрию, то возникает необходимость в количественной оценке погрешности измерений.
4. Покупая товары онлайн, потребители при выборе полагаются на устройства отображения информации. Они ожидают, что изображение, которое они увидят, будет точно соответствовать товару, который они получают. Передача цветопередачи с реального объекта на устройство формирования изображения, а затем на устройство отображения является сложной задачей, и в существующих моделях цветопередачи МКО имеются пробелы в знаниях, например, в отношении экстремальных условий яркости и более сложных условий просмотра. Можно ожидать, что повышение точности цветопередачи приведет к сокращению числа случаев, связанных с разочарованием потребителей (ЦУР 12).
5. Для успешного внедрения устройств дополненной реальности (AR), виртуальной реальности (VR) и расширенной реальности (XR) требуется визуальная информация о внешнем виде каждого отображаемого элемента (ЦУР 9). Эти новые технологии также выиграют от использования данных о реальных цветовых гаммах конкретных сцен и изображений.
6. Для неоднородных 3D-объектов необходима система метрологии, которая объединяет 3D-форму, локальную текстуру и свойства, влияющие на внешний вид. Создание условий для воспроизведения желаемых форм, цветов и внешнего вида поверхности 3D-объектов является сложной задачей, но представляет большой интерес для промышленности. Измерительные приборы, протоколы и средства калибровки также являются частью этой задачи. Хотя 3D-печать сопряжена с особыми техническими трудностями, эти усилия оправданы социальными и экологическими преимуществами точной 3D-печати. Возможность местного производства товаров, включая комплектующие для оборудования по запросу, была бы гораздо менее затратной, чем производство, транспортировка и последующее хранение большого количества, возможно, ненужных товаров (ЦУР 9, 12).

СВЕТОТЕХНИКА
LIGHTING ENGINEERING

**ИССЛЕДОВАНИЕ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ
ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ПРИ
РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ И ЯРКОСТНЫХ
КОНТРАСТАХ**

Дворецкова Э.А., студент; Лезжова Е.С., руководитель направления музейного освещения компании «Точка Опоры»; Макаров Д.Н., к.т.н., старший преподаватель, НИУ «МЭИ», г. Москва

**THE STUDY OF THE SUBJECTIVE PERCEPTION OF ARTISTIC
GRAPHIC WORKS UNDER DIFFERENT LIGHTING CONDITIONS
AND BRIGHTNESS CONTRASTS**

Dvoretzkova E.A., student; Lyezhova E.S., Head of the museum lighting department of the company "Tochka Opory"; Makarov D.N., Ph.D., senior lecturer, NRU "MPEI", Moscow

Аннотация

Данная работа посвящена исследованию того, какие варианты освещения картин, выполненных в графике, и какой яркостной контраст между изображением и фоном являются наиболее предпочтительными для наблюдателей. В дальнейшем, благодаря данному исследованию, можно будет выработать новый подход к музейному освещению.

В ходе данной работы было проведено исследование на предмет выявления зависимостей предпочтений наблюдателей при выборе цветовой температуры, освещенности и яркостного контраста между изображением и фоном.

Для достижения поставленной цели были проанализированы литературные данные, которые позволили качественно подготовиться к эксперименту. Была спроектирована и создана лабораторная установка для проведения эксперимента. Также была разработана и создана программа в среде MATLAB по обработке экспериментальных данных для выявления зависимостей предпочтений наблюдателей. После подготовки был проведен эксперимент с участием наблюдателей методом экспертных оценок.

В результате исследования были получены искомые зависимости и сделаны выводы, касающиеся предпочтений наблюдателей, а также даны рекомендации при проектировании музейного освещения для работ в графике на основании данного исследования.

Abstract

This work is devoted to the study of which lighting options for paintings made in graphics and which brightness contrast between the image and the background are the most preferable for observers.

In the future, thanks to this research, it will be possible to develop a new approach to museum lighting.

In the course of this work, a study was conducted to identify the dependencies of observers' preferences when choosing color temperature, illumination and brightness contrast between the image and the background.

To achieve this goal, the literature data were analyzed, which made it possible to prepare qualitatively for the experiment. A laboratory facility for conducting the experiment was designed and created. A program was also developed and created in the MATLAB environment for processing experimental data to identify the dependencies of observers' preferences. After the preparation, an experiment was conducted with the participation of observers using the method of expert assessments.

As a result of the study, the desired dependencies were obtained and conclusions were drawn regarding the preferences of observers, as well as recommendations were given when designing museum lighting for works in the schedule based on this study.

Ключевые слова: Музейное освещение, яркостной контраст, графические изображения, цветовая температура, освещенность.

Keywords: museum lighting, brightness contrast, graphic images, correlated color temperature, illumination.

Введение

Освещение музеев – одна из самых сложных задач, требующая принципиально разных подходов в зависимости от характера представленных экспонатов, архитектурных особенностей здания, особенностей построения экспозиции. При освещении экспоната необходимо учитывать множество факторов, такие как: освещенность на экспонате, цветовую температуру, демонстрационную годовую световую экспозицию, и т.д.

На данный момент времени, все требования, которые предъявляются в ГОСТ Р 70835—2023 «Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы» [3], направлены на сохранность музейных экспонатов и удобство их рассмотрения для посетителей музеев, в то время как с точки зрения эстетики следует учитывать то, насколько правильно преподнесен музейный экспонат зрителю, насколько представление раскрывает задумку автора или организаторов выставки.

Для раскрытия этих моментов следует обращать внимание на такие вещи как: яркость экспоната, яркостной контраст между экспонатом и фоном, какая коррелированная цветовая температура лучше всего подходит для освещения данного объекта и т.д.

Методы исследования

Для исследования была создана лабораторная установка, включающая в себя экспозиционные светильники ДСО80-02 015 3000К и

ДСО80-02 025 4000К, светильник общего освещения FM-TR65-C20W три изображения разной светлоты и три фона разной светлоты. Эксперимент проводился в помещении, изолированном от внешних источников света.

Схема экспериментальной установки, размеры и взаимное расположение объекта наблюдения (картина в графике), осветительных приборов и наблюдателя представлены на рисунке 1.

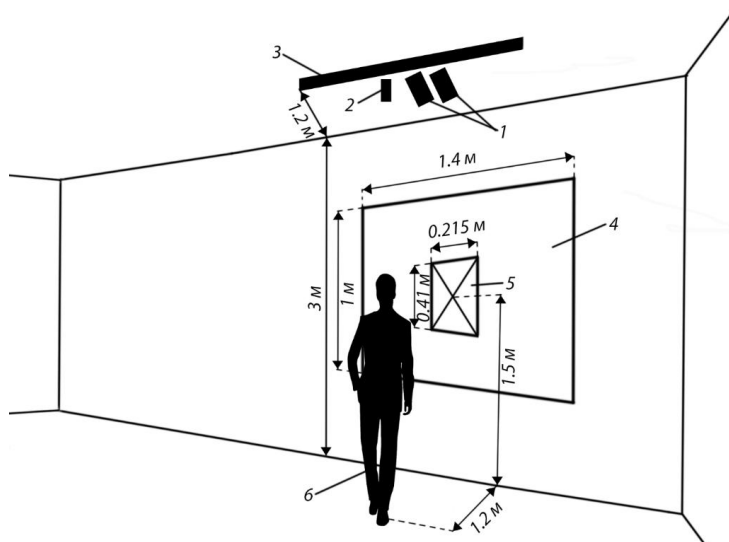


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – экспозиционные светильники; 2 – светильник общего освещения; 3 – шинопровод для ОП; 4 – сменяемый фон; 5 – объект (экспонат) наблюдения; 6 – наблюдатель

В качестве объектов исследования были выбраны три картины выполненных в графике, сменяющиеся на фонах черного, серого и белого цветов.



Рис. 2. Изображения, используемые в эксперименте

Так же перед началом проведения эксперимента были измерены яркости изображений и фонов при всех вариантах освещения и рассчитан яркостной контраст между ними.

Так как при изучении методов музейного освещения представляют интерес взаимодействие человека с музейным экспонатом и его реакция на различные сценарии освещения, в качестве метода оценивания результатов был выбран метод субъективных оценок.

В качестве наблюдателей-экспертов для эксперимента были выбраны студенты и преподаватели кафедры светотехники. В роли компетентных наблюдателей выступают преподаватели и студенты, имеющее образование и/или работающие в светотехнической отрасли. В роли тренированных наблюдателей выступают студенты, не получившие образование и не работающие в светотехнической отрасли.

Эксперимент проводился следующим образом: эксперту при попадании в помещение, где проводился эксперимент, давалось 3–5 минут на адаптацию к низким уровням освещенности. После эксперту зачитывалась инструкция для проведения эксперимента, затем давалась серия предъявлений, состоящая из трех картин различной светлоты на трех фонах различной светлоты при вариантах освещения $T_{цв} = 4000K$, $E = 50$ лк; $T_{цв} = 4000K$, $E = 70$ лк, $T_{цв} = 3000K$, $E = 50$ лк, $T_{цв} = 3000K$, $E = 70$ лк. Перед каждым предъявлением производилась проверка выставленного уровня освещенности. Всего на каждого наблюдателя приходилось 36 предъявлений. Оценивание предъявлений проводилось на основе пятибалльной шкалы. Всего в эксперименте приняло участие 31 человек. Из них 24 являлись тренированными наблюдателями, 7 компетентными наблюдателями.

Результаты

В результате обработки данных с помощью программы, написанной в среде Matlab, были получены графики зависимостей частоты выбора тех или иных предъявлений от яркостного контраста. Для обработки брались данные по каждому предъявлению, оцениваемые как «хорошо» или «отлично», чтобы по полученным зависимостям можно было понять, какой процент наблюдателей считает данные предъявления как минимум «хорошими».

На графике кривые, обозначающие те или иные варианты освещения, расположены выше, если их предпочитает большее количество наблюдателей и, соответственно, ниже, если их выбирает меньшее количество наблюдателей. Таким образом, мы можем понять, какие варианты освещения являются более предпочтительными.

При рассмотрении графиков, можно заметить, что предпочтение отдается более высоким цветовым температурам и более высоким уровням освещенности на поверхности картины.

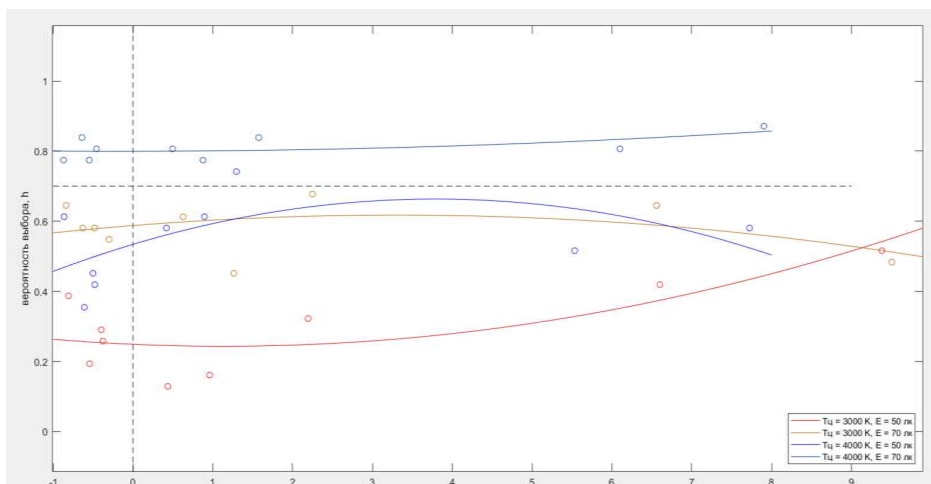


Рис. 3. Зависимость частоты выбора от яркостных контрастов для всех вариантов освещения

Если говорить о яркостных контрастах, и о том, какое влияние они оказывают на выбор наблюдателя, видно, что кривые расположенные ниже, а, следовательно, менее предпочтительны, изменяются в более значимой степени, чем кривые расположенные выше. Соответственно, можно сделать вывод о том, что яркостной контраст имеет большее значение для менее предпочтительных вариантов освещения.

Обсуждение

На конференции «Свет в музее» 2024 года было представлено исследование по восприятию масляной живописи в зависимости от цветовой температуры. Эксперимент проходил во ВНИСИ, в нем было задействовано более ста человек. Данный эксперимент показал, что наблюдатели отдают предпочтение более высоким уровням цветовой температуры.

Данные этого эксперимента совпадают с теми, что представлены в настоящем исследовании, однако, остальные параметры такие как яркостной контраст между фоном и изображением, а также уровень освещенности на картине в подобном ключе ранее не исследовались.

Выводы

Общие тенденции, которые можно выявить при изучении графиков, полученных при обработке результатов, следующие:

- 1) При равных значениях освещенности на картине коррелированная цветовой температура 4000К является более предпочтительной для наблюдателей, чем 3000К.
- 2) При равных значениях цветовой температуры наблюдатель отдает предпочтение варианту с большей освещенностью на картине.

3) Чем более предпочтительным является вариант освещения для наблюдателя, тем меньшее значение имеет яркостной контраст между изображением и фоном.

Чем менее предпочтительным является вариант освещения для наблюдателя, тем большее значение имеет яркостной контраст между изображением и фоном.

Список литературы

1. *Иванова Н. С., Мигалина И. В., Юров С. Г.* Субъективная оценка цветопередачи / *Н. С. Иванова, И. В. Мигалина, С. Г. Юров.* – М.: Всесоюз. науч.-исслед. ин-т техн. эстетики Гос. ком. Совета Министров СССР по науке и технике. ВНИИТЭ, 1973. 59 с.
2. *Будак В.П., Вагина А.Е., Епихов Н.С., Смирнов П.А.* / Светлота и яркость: особенности восприятия в условиях одновременного контраста / *В.П. Будак, А.Е. Вагина, Н.С. Епихов, П.А. Смирнов* // Светотехника, 2021. №2. с. 89-94
3. ГОСТ Р 70835-2023 Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы. М.: Институт стандартизации, 2023. 19 с.
4. *Ван-дер-Варден Б.Л.* / Математическая статистика / *Б.Л. Ван-дер-Варден* - М.: Издательство иностранной литературы, 1960, 434 с.
5. *Марк Д. Фершльд* / Модели цветового восприятия / *Марк Д. Фершльд.* 439 с.

**ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ СВЧ РТУТНО-АРГОНОВОЙ УФ ЛАМПЫ
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Железнов И.И., аспирант; Будак В.П. д.т.н., проф.,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

**FEATURES OF MODELING THE PARAMETERS OF AN
ELECTRODELESS LOW PRESSURE MICROWAVE
MERCURY-ARGON UV LAMP**

*Zheleznov I.I., post-graduate student; Budak V.P., PhD, professor,
NRU "MPEI", Moscow*

Аннотация

В настоящей работе проведено всестороннее исследование параметров безэлектродной СВЧ ртутно-аргоновой ультрафиолетовой (УФ) лампы низкого давления, которая представляет собой перспективный источник бактерицидного излучения для дезинфекции воды и воздуха. Разработанная авторами теоретическая модель охватывает ключевые физические процессы, такие как диффузия, захват (пленение) и реабсорбция излучения, что позволяет с высокой точностью прогнозировать эффективность комбинированного воздействия СВЧ-излучения, УФ-излучения и озона (О₃). В модели учитывается влияние различных входных параметров лампы, таких как давление ртути и аргона, а также условия газового разряда на выходные характеристики системы. Такой подход обеспечивает возможность оптимизации рабочих параметров лампы для достижения максимальной производительности и повышения эффективности бактерицидного действия. Исследование показало, что повышение давления ртути до 0.15 Торр и аргона до 0.85 Торр приводит к увеличению коэффициента полезного действия (КПД) лампы, достигая значений до 70%. Эти результаты могут быть использованы при разработке и совершенствовании технологий дезинфекции воды и воздуха, что особенно важно в условиях ухудшающейся экологической ситуации, роста числа инфекционных заболеваний и усиления требований к санитарной безопасности. Полученные данные подчеркивают практическую значимость и необходимость дальнейших исследований для создания более эффективных и надежных источников УФ излучения.

Abstract

This study presents a comprehensive investigation of the parameters of a low-pressure electrodeless microwave (MW) mercury-argon ultraviolet (UV) lamp, which serves as a promising source of bactericidal radiation for water and air disinfection. The theoretical model developed by the authors encompasses key physical processes such as diffusion, trapping, and

reabsorption of radiation, allowing for a more accurate prediction of the effectiveness of combined exposure (MW+UV+O₃). The model accounts for the influence of various input parameters of the lamp and gas discharge conditions on the system's output characteristics. This approach enables the optimization of the lamp's operating parameters to achieve maximum performance and enhance bactericidal efficiency. The study revealed that increasing the mercury pressure to 0.15 Torr and argon pressure to 0.85 Torr leads to a significant increase in the lamp's efficiency, reaching up to 70%. The results of this work can be applied in the development and improvement of water and air disinfection technologies, which is particularly important in the context of environmental pollution, the rise in infectious diseases, and the increasing demand for sanitary safety. These findings underscore the practical significance and necessity of further research to create more efficient and reliable UV radiation sources.

Ключевые слова: безэлектродная ртутно-аргоновая СВЧ лампа, перенос излучения

Keywords: *electrodeless mercury-argon microwave lamp, radiation transfer*

Введение

В последние десятилетия проблема дезинфекции воды и воздуха стала особенно актуальной. С ростом численности населения, изменением климата и увеличением промышленного производства, качество воды и воздуха значительно ухудшилось. Это привело к повышению риска возникновения и распространения различных инфекционных заболеваний. В связи с чем, возникает необходимость в развитии новых технологий, основанных на применении источников бактерицидного УФ излучения. В данном ключе особый интерес демонстрируют безэлектродные цилиндрические (трубчатые) СВЧ ртутно-аргоновые лампы, которые могут составить конкуренцию традиционным газоразрядным лампам с внутренними электродами, а также опережают по энерго-экономическим показателям бурно развивающиеся в настоящее время УФ светодиоды. Отличительная особенность данного источника излучения (ИИ) заключается в комбинированном воздействии СВЧ+УФ+О₃ излучения на обрабатываемую среду. Длина и диаметр таких ламп могут быть практически любыми, в зависимости от типа колебаний электромагнитной волны (ТЕМ, ТЕ, ТМ) [1]. Однако, при массовом внедрении таких устройств, возникает основополагающая проблема, которая заключается в определении и обеспечении максимально возможного коэффициента передачи энергии накачки в горелку во всем интервале времени – от предстартового состояния до установления стационарного режима безэлектродного разряда. К сожалению, на

данный момент известно крайне мало теоретических и экспериментальных исследований, позволяющих дать внятное обоснование поведению данного источника УФ-излучения. Неопределёнными остаются влияния таких ключевых факторов, как геометрические параметры (радиус R и длина L лампы, параметры разряда (давление ртути p_{Hg} и аргона p_{Ar}), а также процессы реабсорбции, пленения и диффузии излучения на функционирование лампы. В связи с этим, основной акцент делается именно на разработке теоретической модели, которая позволит осуществить отбор наиболее оптимальных условий работы лампы и создавать высокоэффективные источники УФ излучения на основе разряда данного типа.

Метод исследования

Для формирования модели выделим ее основные физические принципы. Речь пойдет об электромагнитных процессах в ансамбле частиц, которые могут описываться кинетическими уравнениями в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТДР) [2]. В таком случае можно принять, что механизм переноса излучения не оказывает значительного влияния на изменение распределения температуры внутри лампы, имеющей форму цилиндра с неким радиусом R . Это дает возможность представить систему уравнений кинетики и переноса излучения на основе простейшей двухуровневой системы [3]:

$$\begin{cases} Z_{21}n_2 = A_{21}n_2 - w_{21}n_2 + w_{12}n_1 + \nabla(D_2\nabla n_2) + \frac{1}{4\pi} \int [\hat{\mathbf{l}}] L_v(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}) [B_{12}n_1 - B_{21}n_2] P(v) d\hat{\mathbf{l}} dv, \\ (\hat{\mathbf{l}}, \nabla) L_v(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}) = \kappa_v(\mathbf{r}) B_v(\mathbf{r}) - \kappa_v(\mathbf{r}) L_v(\mathbf{r}, \hat{\mathbf{l}}), \end{cases} \quad (1)$$

где Z_{21} — частоты реакций, соответствующие столкновительно-радиационным процессам заселения уровня 2, $P(v)$ — функция контура спектральной линии излучения, A_{21} , B_{12} и B_{21} — коэффициенты Эйнштейна, D_2 — коэффициент диффузии атомов сорта 2; w_{12} и w_{21} — вероятности столкновений атомов при ударном возбуждении и тушении. Для решения данной системы уравнений авторы предлагают область объёма цилиндрической лампы V разбить на M кубических подобъёмов — вокселей (рис. 1), где каждому такому вокселю соответствует список объектов, находящихся в нем: $v = \sum_{i=1}^M \Delta V_i$, где ΔV_i — кубические элементы (воксели) декартовой 3D-сетки.

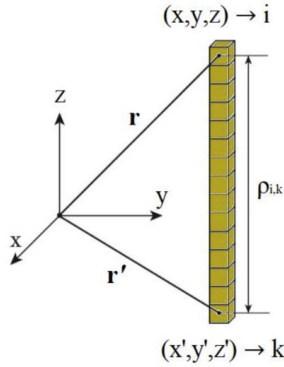


Рис. 1. Кубическая дискретизация цилиндрического ИИ

В таком случае расстояние между точками \mathbf{r} и \mathbf{r}' будет определяться как:

$$\rho = |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2} \cdot \Delta l, \quad (2)$$

где x, y, z – целочисленные координаты вокселей, а $\Delta l = \sqrt[3]{\Delta V}$ – длина ребра вокселя. Сопоставим векторам координат (x, y, z) , (x', y', z') индексы i и k для каждой пары элементов: $(x, y, z) \rightarrow i$; $(x', y', z') \rightarrow k$; $i, k = 1, \dots, M$

$$\rho_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 + (z_i - z_k)^2} \cdot \Delta l \quad (3)$$

Для учета всех пересеченных вокселей на пути между элементами i и k разработан следующий алгоритм трассировки лучей:

1. Устанавливаются начальная и конечная координаты, соответствующие элементам с индексами i и k ;
2. Рассчитываются углы наклона луча $\angle X = \rho_x / \max(\rho_x, \rho_y, \rho_z)$, $\angle Y$ и $\angle Z$;
3. Вычисляются расстояния (h_x, h_y, h_z) из начальной точки до граней пересечения с соседними элементами. Минимальная из этих величин определяет расстояние, которое возможно пройти вдоль луча $k \rightarrow i$, при этом оставаясь в пределах текущего элемента;
4. Рассчитываются инкременты для каждой из компонент $\Delta h_x = \Delta l / \angle X$, Δh_y и Δh_z . К минимальному на данный момент расстоянию $\min(h_x, h_y, h_z)$ прибавляется инкремент, а соответствующая координата увеличивается на фиксированный шаг ψ ;
5. Осуществляется переход в другой воксель;
6. Пункты 2 – 5 повторяются до тех пор, пока не будет достигнута конечная точка в элементе i .

Тогда после всех подстановок решение системы (1) будет представлять следующее:

$$A_{21}n_2 - w_{21}n_2 + w_{12}n_1 + \nabla(D_2\nabla n_2) - \frac{A_{21}}{4\pi} \int \int \frac{n_2(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \kappa_\omega \exp[-\kappa_\omega |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|] d^3r' P(\omega) d\omega = n_2(\mathbf{r})Z_{21}, \quad (4)$$

где $\omega = \frac{\nu - \nu_k}{\Delta\nu}$ — круговая частота, что $P(\omega) = 2\pi P(\nu)$, $\Delta\nu$ — полуширина спектральной линии, зависящая от формы контура.

В таком случае мы можем легко перейти от простейшего двухуровневого случая к многоуровневой системе атома ртути:

$$A_{s_0n_s} - \frac{A_{s_0}}{4\pi} \int \int \frac{n_s(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^2} \kappa_\omega \exp[-\kappa_\omega |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|] d^3r' P(\omega) d\omega = \sum_{s=1}^6 n_s(\mathbf{r})Z_{s_0} + w_{s_0n_s} - w_{0s}n_s + \nabla(D_s\nabla n_s), \quad (5)$$

здесь индексы 0 и s обозначают нижнее и верхнее энергетическое состояние атома ртути.

Таким образом, для каждого элементарного объема (вокселя) в цилиндрической геометрии решение уравнения (5) позволяет провести оценку распределения концентрации возбужденных атомов по энергетическим уровням. В отличие от известных одно- и двумерных моделей, предложенный подход позволяет учитывать пространственные неоднородности, нелинейности и нестационарности в СВЧ разряде, а именно реабсорбцию, «пленение» и «диффузию» излучения, а также взаимодействие с окружающей средой, что значительно расширяет возможности моделирования (рис. 2).

Теперь установим связь между параметрами разряда и лампы. Для этого запишем выражение, определяющее эффективность выходного излучения η . Важно отметить, что при формировании модели авторами было проведено детальное исследование вклада каждого компонента (СВЧ, УФ и ОЗ) в общую эффективность системы. Для каждого из них выполнена тщательная оценка их индивидуального воздействия, что позволило точно учесть взаимное влияние компонентов и синергетический эффект, возникающий в процессе их взаимодействия.

Представим η через выходной поток излучения $\Phi_{СВЧ+УФ+ОЗ}$ и входную мощность $P_{вход}$:

$$\eta = \frac{\Phi_{СВЧ+УФ+ОЗ}}{P_{вход}} \quad (6)$$

Представим поток выходного излучения в следующем виде:

$$\Phi_{СВЧ+УФ+ОЗ} = B \cdot (p_{Ar})^\alpha \cdot (p_{Hg})^\beta \cdot L^\gamma \cdot R^\delta, \quad (7)$$

где B — эмпирический коэффициент; p_{Ar} — давление аргона, Торр; p_{Hg} — давление ртути, Торр; L — длина колбы лампы, см; R — радиус колбы лампы, см; α , β , γ , и δ — эмпирические показатели степени.

Выразим входную мощность, которая будет пропорциональна удельной мощности и объёму:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вых}} \cdot V = P_{\text{вых}} \cdot \pi R^2 \cdot L, \quad (8)$$

где $P_{\text{вых}}$ - удельная мощность излучения, Вт/м³.

Подставим (7) и (8) в выражение для эффективности (6):

$$\eta = \frac{B \cdot (p_{\text{Ar}})^\alpha \cdot (p_{\text{Hg}})^\beta \cdot L^\gamma \cdot R^\delta}{P_{\text{вых}} \cdot \pi R^2 \cdot L} \quad (9)$$

Приведя подобные члены и включив $P_{\text{вых}}$ в B , получаем следующее:

$$\eta = B' \cdot (p_{\text{Ar}})^\alpha \cdot (p_{\text{Hg}})^\beta \cdot L^{\gamma-1} \cdot R^{\delta-2}, \quad (10)$$

где B' — новый эмпирический коэффициент, учитывающий $P_{\text{вых}}$
 Преобразуем (10) для логарифмической регрессии:

$$\lg(\eta) = \lg(B') + \alpha \cdot \lg(p_{\text{Ar}}) + \beta \cdot \lg(p_{\text{Hg}}) + (\gamma - 1) \cdot \lg(L) + (\delta - 2) \cdot \lg(R) \quad (11)$$

Подставив в (11) параметры лампы $R = 12 \text{ мм}$, $L = 200 \text{ мм}$ и разряда $p_{\text{Hg}} = 0.05 \text{ Торр}$, $p_{\text{Ar}} = 0.75 \text{ Торр}$, полученные в ходе экспериментального исследования [4, 5], при которых $\eta = 44\%$:

$$\eta = 9.1 \cdot (p_{\text{Ar}})^{0.2} \cdot (p_{\text{Hg}})^{0.4} \cdot L^{-0.5} \cdot R^{-1.5} \quad (12)$$

При помощи данного выражения возможно определить эффективность комбинированного СВЧ+УФ+ОЗ излучения безэлектродной лампы в зависимости от давления аргона, давления ртути, длины и радиуса колбы лампы.

Результаты и обсуждение

Покажем результаты решения системы уравнений кинетики и переноса, позволившие провести моделирование процессов реабсорбции, диффузии и пленения излучения в лампе (рис. 2). Для этого запишем уравнение, описывающее излучение СВЧ разряда в ртутно-аргоновой плазме:

$$W(r, z) = W_{\text{max}} \cdot \delta(r) \cdot 10^{-\alpha z}, \quad (13)$$

здесь W_{max} — максимум функции $w(r, z)$, $\alpha = \text{const}$, $\delta(r)$ — функция возбуждения, которая имитирует излучение ТЕМ-волны магнетрона, используемого для зажигания коаксиального СВЧ ртутно-аргонового разряда в кварцевой цилиндрической трубке длиной 20 см при давлении аргона $p_{\text{Ar}} = 0.75 \text{ Торр}$, и ртути $p_{\text{Hg}} = 0.05 \text{ Торр}$ [5].

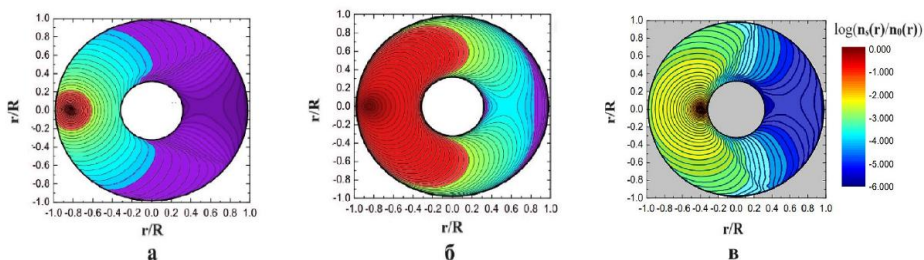


Рис. 2. Результаты моделирования: реабсорбция (а), диффузия (б), пленение (в)

Полученные зависимости хорошо согласуются с результатами [6, 7].

Рассмотрим, как будет варьироваться эффективность комбинированного излучения в зависимости от удельной мощности лампы при изменении входных параметров лампы и разряда (рис. 3).

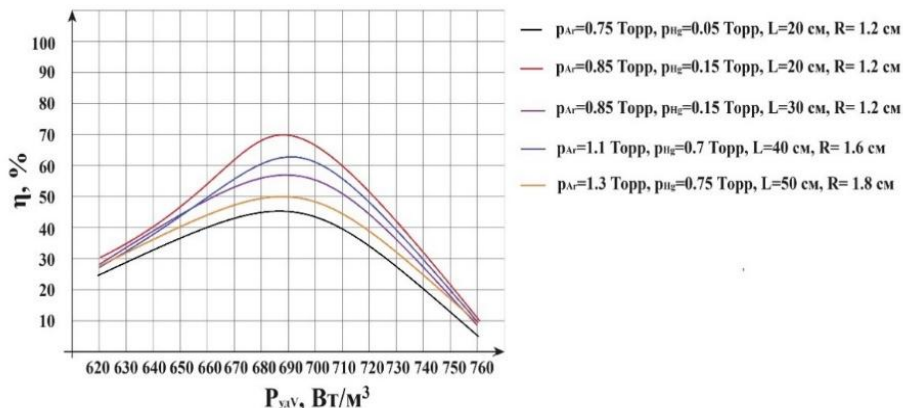


Рис. 3. Результаты моделирования зависимости КПД от удельной мощности излучения

Согласно полученным результатам при той же конструкции лампы за счет увеличения давления ртути и аргона до 0.15 Торр и 0.85 Торр, соответственно, можно добиться более равномерного распределения температуры стенки и снизить температуру холодной точки лампы, что приведет к повышению эффективности выходного излучения до 69–70%.

Таким образом, разработанная модель позволила за счет регулирования входных параметров, как источника излучения, так и самого разряда предсказывать эффективность выходящего комбинированного СВЧ+УФ+ОЗ излучения.

Выводы

Разработанная теоретическая модель позволяет учитывать процессы диффузии, пленения и реабсорбции излучения, а также предсказывать эффективность выходящего комбинированного СВЧ+УФ+ОЗ, что способствует оптимизации входных параметров как источника излучения, так и самого газового разряда.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых технологий дезинфекции воды и воздуха.

Список литературы

1. 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.
2. Климонтович Ю.Л. Кинетическая теория неидеального газа и неидеальной плазмы. М.: Наука, 1975. 352с.
3. Budak V. P., Zheleznov I. I., Grigoryev A. A. Features of solving the radiation transfer equation in low-temperature gas discharge plasma // Light & Engineering. – 2024. – Vol. 32, No. 3. – P. 4-10.
4. Zheleznov I. I., Popov O. A. Electrodeless source of UV radiation based on low pressure microwave mercury discharge // Light & Engineering. 2023. Vol. 31, No. 3. P. 36-42.
5. Zheleznov I., Konovalov S., Vanin I. ELECTRODELESS MICROWAVE SOURCE OF BACTERICIDAL ULTRAVIOLET RADIATION// Proceedings of the 13th Asia Lighting Conference (Beijing, China) pp.789-791
6. Лебедев Ю.А., Юсупова Е.В. Влияние постоянного поля на приповерхностную плазму сильно неоднородного СВЧ разряда // Физика плазмы. 2012. Т. 38. № 8. С. 677-693.
7. Golubovskii Y. B., Kalanov D., Baeva M. et al. Effect of trapping of resonance radiation in a free-burning Ar arc//Journal of PhysicsD:Applied Physics. 2015. Vol.48. P.225203.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

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

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODERN STREET LIGHTING CONTROL TECHNOLOGIES AND THEIR IMPACT ON ENERGY EFFICIENCY

*Kozlov E.P., student; Grigoriev A.A., Doctor of Technical Sciences,
Professor, Rybina V.A., Senior lecturer,
NRU "MPEI", Moscow*

Аннотация

В данной работе было проанализировано два способа внедрения автоматизированных систем управления уличным освещением городами и сравнены между собой различные протоколы, которые используются для управления уличным освещением. Были проведены измерения средней освещенности на дорожном полотне для проверки выполнения нормативных значений по средней освещенности при снижении светового потока светильников. По результатам работы был предложен способ увлечения экономии денежных средств от эксплуатации систем управления. В ходе проведенных измерений в работе была выявлена погрешность между расчетными и измеренными параметрами в 6–7%, которые следует учитывать при проектировании. Так же было оценен спад средней освещенности за 5,5 лет эксплуатации осветительной установки.

Abstract

In this paper, two ways of implementing automated street lighting control systems in cities were analyzed and various communication technologies used to control street lighting were compared. Measurements of the average illumination on the roadbed were carried out to verify compliance with the standard values for average illumination with a decrease in the luminous flux of the lamps. Based on the results of the work, a method was proposed to increase money savings from the operation of control systems. During the measurements carried out in the work, an error between the calculated and measured parameters of 6-7% was revealed, which should be taken into account when designing. The decrease in average illumination over 5.5 years of operation of the lighting system was also estimated.

Ключевые слова: Уличное освещение, системы управления уличным освещением, PLC, NB-IoT, LoRa WAN.

Keywords: *Street lighting, lighting asset management, PLC, NB-IoT, LoRa WAN.*

Введение

Существуют различные протоколы для обеспечения передачи данных и команд между контроллерами светильника уличного освещения и центральным управляющим узлом. Они делятся на проводные и беспроводные. В ходе литературного анализа, основываясь на [1], [2] были выявлены наиболее распространенные протоколы управления среди производителей:

- PLC (Power Line Communication): передача данных по существующим линиям электропередачи. Для внедрения нужны только контроллеры на светильники и шкаф управления;
- LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): передача данных на большие расстояния с использованием радиочастот в нелицензированных диапазонах. Необходима установка базовых станций для работы системы;
- NB-IoT (Narrowband Internet of Things): передача данных с использованием узкополосной технологии в лицензированных частотных диапазонах, применяемая для связи устройств с сотовыми сетями. Принцип работы схож с LoRaWAN, но не требует установки базовых станций, так как операторы сотовой связи предоставляют свои вышки с выделенным диапазоном частот.

Методы исследования

Для оценки экономической эффективности АСУНО и возможности их внедрения в городах были проведены расчеты в программах Matlab, Excel. На рис.1 представлен алгоритм расчета.

Расчет для определения экономической эффективности был выполнен в двух вариантах: первый - город за бюджетные средства заменяет светильники и внедряет АСУНО, второй - город находит компанию-инвестора и реализовывает с ней долгосрочный контракт.

Экономические расчеты были основаны на реализованных контрактах по модернизации уличного освещения в городах Смоленск [3], Ипатово и Новокузнецк. В Ипатово замена светильников проводилась преимущественно на проездах внутри частной жилой застройки. В Новокузнецке — в основном на улицах общегородского и районного значения. В Смоленске 60% замененных светильников приходились на проезды внутри частной жилой застройки, а 40% — на улицы общегородского и районного значения.

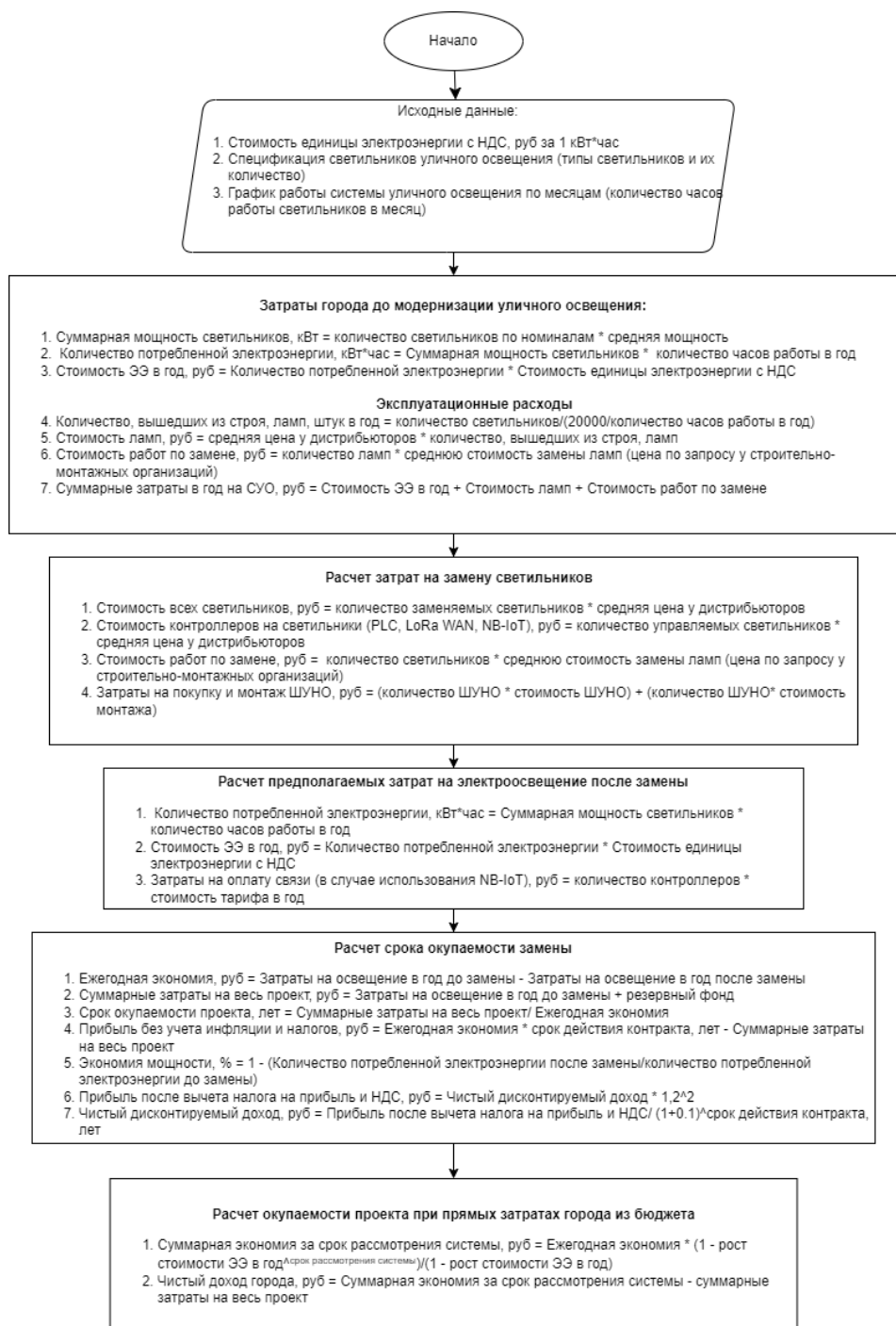


Рис. 1. Алгоритм экономического расчета

В расчете сравнивалось количество управляемых светильников и их окупаемость для городов. Также сравнивались затраты на внедрение для трех вышеупомянутых протоколов.

Результаты

Таблица 1. Результаты расчетов для г. Смоленск, сравнение доли управляемых светильников

Показатели	Количество управляемых светильников (LoRa)					
	без диммирования	5%	10%	15%	20%	33%
Экономия города, млн руб.	685,5	696,8	705,2	712,4	718,1	730,5
Увеличение экономии, %	0	2	3	4	5	7
Упущенная выгода инвестора, %	0	0,5	1	3	4	10
Увеличение затрат, %	0	4	8	11	15	24
Доход города, млн руб.	1122,9	1134,3	1140,2	1143,4	1144,1	1139,5

В таблице 1 представлены результаты экономического расчета на базе города Смоленск. Закономерности по разнице экономии и затрат одинаковы для каждого города. Рассматривалось разное количество управляемых светильников от 5% до 33% от общего объема, так как количество светильников, которые разрешено диммировать согласно [4] не превышает 30-35% от общего количества.

Таблица 2. Результаты расчетов для г. Смоленск, сравнение протоколов

Критерии оценки эффективности решения	Варианты исполнения			
	без диммирования	LoRa	NB-IoT	PLC
Экономия города за 5 лет, млн руб.	696,6	743,3	718,6	743,3
Увеличение экономии, %		7	3	7
Увеличение затрат, %		22	23	18

Для сравнения вариантов исполнения АСУНО был проведен аналогичный экономический расчет на базе города Смоленска. Результаты показали, что наименее дорогой является технология PLC, а наименее выгодной – NB-IoT. Технология LoRaWAN является оптимальной благодаря меньшим затратам на внедрение и универсальности. Универсальность LoRaWAN заключается в том, что ее можно развернуть в любом населенном пункте, при этом не быть в зависимости от качества электросетей и покрытия оператора.

В ходе экономического расчета появилась гипотеза о том, что в первые годы эксплуатации ОУ можно использовать больший процент диммирования из-за применяемого при проектировании коэффициента

эксплуатации 0,7 для светодиодных светильников. Однако нужно убедиться, что дополнительное снижение светового потока не повлечет спад средней освещенности на ПЧ ниже нормативных значений. Было выбрано 2 участка для проведения измерений: улица с 2 полосами и односторонним расположением опор категории В1 и улица с 4 полосами с двусторонним расположением опор категории Б1.

Таблица 3. Результаты проведения измерений

Наименование характеристики	Участок В1			Участок Б1		
	100	70	50	100	70	50
Уровень снижения мощности, %	100	70	50	100	70	50
Измеренная средняя освещенность на участке после ввода ОУ в эксплуатацию, лк	22,5	-	-	39,9	-	-
Измеренная средняя освещенность на участке в рамках работы, лк	20,6	13,8	9,3	36,3	24,4	16,3
Расчетная средняя освещенность на участке при MF=1, лк	23,9	-	-	43	-	-
Разница значений между расчетными и измеренными после ввода ОУ в эксплуатацию, %	6	-	-	7	-	-
Разница между измеренными значениями, %	8,5	-	-	9	-	-

В таблице 3 представлены результаты измерений и расчетов. Исходя из результатов эксперимента, была подтверждена гипотеза, что в первые годы эксплуатации осветительной установки можно использовать дополнительное диммирование. Предложен обновленный график работы уличного освещения в таблице 4.

Таблица 4. График работы уличного освещения

Уровень снижения мощности	вкл	откл	вкл	откл
100 % используемый 90 % предлагаемый	до 22:00	22:00	6:00	до выключения УНО
70 % используемый 50 % предлагаемый	22:00	23:00	4:00	6:00
50 %	23:00	4:00		

Обсуждение

Результаты измерений показали, что существует погрешность 6-7% между измеренными и расчетными значениями средней освещенности. За 5,5 лет эксплуатации ОУ можно заметить уменьшение освещенности в районе 9%. Средняя освещенность превышает нормируемые значения при полной мощности светильников. При снижении мощности на 30%

уровень средней освещенности остается близким к нормируемому или превышает ее.

Из экономических расчетов видно:

- Через 7 лет после установки системы освещения, вариант с диммированием становится более выгодным, чем вариант без диммирования. До этого срока вариант без диммирования приносит больший доход городу;
- При установке 20% от общего объема управляемых светильников доход города является максимальным.

Обновленный экономический расчет показал, что предложенный график повышает доход от АСУНО на 7 млн рублей при самостоятельном внедрении городом или на 3 млн при внедрении инвестором.

Выводы

1. Проведенный в работе экономический расчет показал, что рассмотренным городам целесообразно и экономически выгодно внедрять АСУНО. Для каждого случая можно выбрать оптимальный протокол управления, а различным компаниям выгодно заниматься внедрением, несмотря на большие затраты

2. Измерения освещенности выявили погрешности между расчетными и измеренными параметрами в 6-7%, которые следует учитывать при проектировании.

3. Предложенный график работы УНО на основе проведенного измерений, позволяет получать дополнительную выгоду от АСУНО.

Список литературы

1. Сайт производителя АСУНО ООО «Эмбиот»: <https://ambiot.io/smartcity> (дата обращения – 16.12.2023).
2. *Майоров, П. В.* Выбор сетевой технологии для системы умного освещения загородных дорог / П. В. Майоров, С. А. Тюрин // Автоматизированные системы управления и Информационные технологии: Материалы всероссийской научно-технической конференции. В двух томах, Пермь, 09–11 июня 2020 года. Том 2. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – С. 356-362. – EDN YNASVO.
3. Карточка проекта, г. Смоленск: <https://zakupki.gov.ru/epz/contract/contractCard/common-info.html?reestrNumber=3673007528919000210> (дата обращения – 16.12.2023).
4. ГОСТР 55706—2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы.

ОСВЕЩЕНИЕ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ САНАТОРИЯ

Кухновец Е.К., студентка;
научный руководитель – Снетков В.Ю., к.т.н.,
доцент, НИУ «МЭИ», г. Москва

LIGHTING AND DISINFECTION OF SANATORIUM PREMISES

Kukhnovets E.K., student;
Snetkov V.Yu., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, NRU MPEI, Moscow

Аннотация

В работе описаны выбранные осветительные установки для помещения санатория, варианты цветовых оформлений помещения, облучатели для обеззараживания воздуха и поверхностей, измерительный прибор, методики исследования и измерений, экспериментальные данные по цветовому предпочтению людей. Нами были измерены энергетические освещённости от реальных облучательных приборов, рассчитаны диапазоны времени облучения и обоснованы для них варианты применения. Так, облучатель GALAD ББО мы рекомендуем использовать на расстоянии от 0,30 (причём люди могут находиться на этом расстоянии не более 0,3 часа) до 0,60 м (не более 1,2 часа) в небольших по площади помещениях, например, в коридорах, а для расстояния 0,85 м (не более 2 часов) для больших помещений. Светильник GALAD Вива LED рекомендуем применять в режиме обеззараживания воздуха на расстояниях от людей 2 м и больше в помещениях специального назначения (смотровые, процедурные и т.п.) с обоснованным нами временем облучения. Были определены лучшие для восприятия варианты цветового оформления пространства процедурного кабинета по результатам субъективных измерений. Ими оказались светлые серые и белые цвета или серые и светло-голубые.

Abstract

The paper describes the selected lighting installations for the sanatorium premises, variants of colour design of the premises, irradiators for air and surface disinfection, measuring device, research and measurement methods, experimental data on colour preference of people. We have measured the irradiance from real irradiators, calculated the ranges of irradiation time and justified the application options for them. Thus, we recommend to use the irradiator GALAD BBO at a distance from 0,30 (and people can be at this distance no more than 0,3 hours) to 0,60 m (no more than 1,2 hours) in small rooms, for example, in corridors, and for a distance of 0,85 m (no more than 2 hours) for large rooms. GALAD Viva LED luminaire is recommended to be used in air disinfection mode at distances

of 2 m and more from people in special purpose rooms (examination rooms, treatment rooms, etc.). with the irradiation time justified by us. The best for perception variants of colour design of the procedure room space were determined according to the results of subjective measurements. These were light grey and white or grey and light blue.

Ключевые слова: облучатели, осветительные установки, цветовое оформление, цвет, зрительное восприятие.

Keywords: *irradiators, lighting installations, colour design, colour, visual perception.*

Введение

Отсутствие должного внимания к правильности выбора освещения помещений санатория может вызывать проблемы со здоровьем. Правильное освещение очень важно, поскольку от него зависит скорость выздоровления, поддержание стабильного состояния, улучшение самочувствия людей [1], [2]. Необходимо сочетать качественное освещение с правильной организацией пространства. Как и свет, цвет тоже оказывает влияние на состояние человека на психологическом, терапевтическом и профилактическом уровне [3], [4]. Кроме того, в связи с недавней пандемией следует уделять внимание обеззараживанию пространства [1]. Важным аспектом является светобиологическая безопасность, так как основной нашей целью является создание наиболее благоприятной среды для людей [5]. В этой работе ставится задача найти и выбрать реальные облучатели для обеззараживания воздуха, а также измерить энергетическую освещенность для разных расстояний до людей. Нами предполагается рассчитать допустимое время экспозиции ультрафиолетовым излучением и предложить подход к правильному размещению облучателей. Ещё одна задача – создать варианты цветового оформления (далее – ЦО) с предложенной нами концепцией освещения для помещения санатория и с помощью субъективных исследований определить лучшую организацию пространства. Подход, направленный на комплексное решение проблем здоровья, нам представляется и важным, и достаточно актуальным.

Метод исследования

Для того, чтобы рассмотреть интересующие нас вопросы, было проведено два исследования. Первое включало в себя полный комплекс работ по расчёту и проектированию осветительных установок, начиная от обоснованного выбора светильников по КСС, мощности, дизайну и стоимости для разных помещений санатория с помощью программы DIALux evo 12.0 и заканчивая анализом результатов, соответствующих отечественным нормам освещения. Были получены визуализации осветительных установок разных вариантов цветовых оформлений

помещения санатория с последующим определением лучшего варианта на основании «метода категорий» [7]. В качестве примера для данного доклада из всех исследованных помещений нами был выбран процедурный кабинет. Наблюдателями были 5 мужчин и 5 женщин возрастом от 33 до 48 лет. Для проведения исследований использовался ноутбук Huawei MateBook D16, на нём был создан тест с 3 визуализациями цветовых вариантов оформления помещения. В эксперименте мы использовали 9 предъявлений каждой визуализации. Для освещения процедурного кабинета мы выбрали светильники GALAD Эконом (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики светильника

Название	Тип	Габариты, мм	КСС	Ф, лм	Р, Вт	КЦТ, К	cos φ	IP	Ra	t, ч	Кол-во
GALAD Эконом	Потолочный	1195×295×77	Д	3600	35	4000	0,95	54	>80	10 ⁵	4 шт

Далее мы рассматривали три варианта ЦО для процедурного кабинета. Первый был выполнен из найденной информации в статьях [3], [4]. Авторы рекомендуют светлые и белые цвета – табл. 2, поскольку они оказывают успокаивающее действие. Во втором варианте (табл. 3) использовалось сочетание зелёных и розовых цветов и их оттенков, которое было выбрано с помощью «цветового круга» И. Иттена. Считается, что зеленый и розовый вызывают чувство спокойствия и доверия у людей. Третий вариант выбран нами по рекомендованной палитре и цветовым сочетаниям из альбома типовых проектов цветового оформления [6].

Таблица 2. Координаты цветности и цвета для первого варианта цветового оформления кабинета

Цвет	Координаты цвета			Координаты цветности	
	X	Y	Z	x	y
□	68,74	69,39	59,13	0,3485	0,3517
□	70,05	69,45	51,95	0,3659	0,3627
□	93,81	94,69	80,69	0,3485	0,3517
□	56,21	55,96	47,56	0,3519	0,3504
□	75,35	76,05	64,814	0,3485	0,3517

Таблица 3. Координаты цветности и цвета для второго варианта цветового оформления кабинета






Цвет	Координаты цвета			Координаты цветности	
	X	Y	Z	x	y
	65,33	75,15	31,63	0,3796	0,4366
	86,22	81,10	69,67	0,3638	0,3422
	92,98	91,68	80,27	0,3510	0,3461
	48,38	42,57	28,06	0,4065	0,3577
	14,85	16,68	7,48	0,3806	0,4276
	63,01	56,95	45,06	0,3818	0,3451

Таблица 4. Координаты цветности и цвета для третьего варианта цветового оформления кабинета

Цвет	Координаты цвета			Координаты цветности	
	X	Y	Z	x	y
	43,04	50,32	43,66	0,3141	0,3672
	88,70	90,60	67,11	0,3600	0,3677
	93,81	94,69	80,69	0,3485	0,3517
	72,08	73,07	52,45	0,3647	0,3698
	16,09	19,03	21,66	0,2834	0,3351
	22,14	28,26	27,38	0,2846	0,3633
	24,61	25,53	46,02	0,2559	0,2655

Получившиеся варианты цветового оформления для процедурного кабинета представлены на рисунке 1.



А

б

в

Рис. 1. Три варианта ЦО: а – первый вариант, б – второй вариант, в – третий вариант.

Второе исследование – измерение энергетической освещённости E_e и определение допустимого времени облучения УФ излучением. В качестве объектов для исследования выступали бактерицидные облучатели GALAD Вива LED и GALAD ББО123-60 (см. рис. 2). Для измерения энергетических освещенностей использовался комбинированный прибор ТКА-ПКМ (06) – Люксметр+УФ-Радиометр. Спектральный диапазон измерений энергетической освещенности: 280 - 400 нм (зоны А+В). Измерения проводились на разных расстояниях по оси облучателя.



а



б

Рис. 2. GALAD Вива LED (а) и GALAD ББО123-60 (б)

Результаты

Из расчёта в программе DIALux мы получили, что рассчитанные значения освещенностей: 503 лк – для первого варианта ЦО, 520 лк – для второго, 511 лк – для третьего – отличаются от нормируемого значения 500 лк на 4%. Значение удельной мощности не превышает нормируемое значение ($9,46 < 14$ Вт), то же можно сказать о показателе дискомфорта UGR ($17,1 < 19$). При обработке результатов, полученных в ходе субъективного исследования, рассчитывалось среднее квадратическое отклонение – табл. 5. Из результатов следует, что предпочтительными вариантами являются ЦО 1 и ЦО 3 (разница в 2%).

Таблица 5. Среднее арифметическое значение оценок наблюдателей и среднее квадратическое отклонение

Среднее арифметическое значение			Среднее квадратическое отклонение		
ЦО 1	ЦО 2	ЦО 3	ЦО 1	ЦО 2	ЦО 3
4,55	4,15	4,45	0,371	0,734	0,588

Для второго исследования использовалась формула из ГОСТ 62471 [5] для расчёта допустимого для людей времени t_{\max} облучения УФ излучением. Предел облучения для эффективной энергетической экспозиции в пределах 8-часового периода равен по [5] 30 Дж/м^2 .

$$t_{\max} = \frac{30}{E_s}, \quad (1)$$

где E_s - эффективная УФ энергетическая освещенность, Вт/м².

В таблице 6 представлены измеренные значения энергетических освещенностей для каждого из облучателей в зависимости от расстояния и рассчитанное допустимое время экспозиции излучением.

Таблица 6. Результаты измерений

Расстояние, м	E_s , Вт/м ²	t_{\max} , мин	E_s , Вт/м ²	t_{\max} , ч
	GALAD Вива LED		GALAD ББО123-60	
0,30	0,285	2	0,029	0,3
0,42	0,178	3	0,015	0,6
0,60	0,108	5	0,007	1,2
0,85	0,062	8	0,004	2,1
1,20	0,031	16	0,002	4,2
1,70	0,014	36	0,001	8,3
2,40	0,014	36	0,001	8,3
3,00	0,014	36	0,001	8,3

Из полученных результатов следует, что GALAD ББО мы рекомендуем использовать на расстояниях от 0,30 (причём люди могут находиться на этом расстоянии не более 0,3 часа) до 0,60 м (не более 1,2 часа) в небольших по площади помещениях, например, коридорах, санузлах и т.д. Для расстояний от 0,85 м (не более 2 часов) и выше – для больших помещений и с временем пребывания людей в соответствии с табл. 6. GALAD Вива LED рекомендуем использовать на расстояниях от 2 м и выше в помещениях специального назначения (смотровые, процедурные и т.п.) или использовать данный облучатель в иных помещениях, но с графиком облучения в соответствии с табл. 6.

Обсуждение

По итогам нашей работы в полном соответствии с ГОСТ Р МЭК 62471 было найдено допустимое для людей время экспозиции ультрафиолетовым излучением для облучателей фирмы GALAD при обеззараживании воздуха. Нами на основании всех требований ГОСТ 26320 определены предпочтительные варианты цветового оформления. Таким образом, достоверность расчётов и измерений обеспечивается строгим соблюдением норм и стандартов.

Выводы

В данной работе были определены допустимые значения времени экспозиции УФ излучением для двух облучателей и предложены варианты их применения в помещениях санатория. Спроектировано освещение процедурного кабинета, где все расчётные значения соответствуют нормам. Причём цветовые оформление 1 (рис. 1а) и 3 (рис. 1в) стали наиболее предпочтительными по мнению 10 наблюдателей.

Список литературы

1. *Айзенберг Б.Ю.* Справочная книга по светотехнике // 3-е издание переработанное и дополненное. – М.: Знак, – 2006. – 972 с.
2. *Кундураджи А. Д.* Освещение, ориентированное на людей в возрасте, проживающих в учреждениях интернатного типа // Светотехника. – 2022. – № 4. – С. 12–19.
3. *Глытина А.А., Баклыкская Л.Е.* Комплексный подход к адаптации жилой среды для пожилого слабовидящего человека // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – 2017. – Т. 3. – С. 27–34.
4. *Резниченко С.И.* Психотерапевтическая жизненная среда для людей пожилого возраста: психологические основы проектирования // Клиническая и специальная психология. – 2017. – Т. 6, № 4. – С. 1–18.
5. ГОСТ Р МЭК 62471-2013 Лампы и ламповые системы, Светобиологическая безопасность, 01.01.2015.
6. Грибер Ю.А., П.А. Бобовников Альбом типовых проектов цветового оформления помещений // Смоленск, – АНО «Лаборатория цвета», – 2019. – 24 с.
7. ГОСТ 26320-84 Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений, 01.07.1985.

**РАЗРАБОТКА КОНСОЛЬНОГО ПРИКРОВАТНОГО
СВЕТИЛЬНИКА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ
С ФУНКЦИЕЙ БИОСВЕТОВОЙ КОРРЕКЦИИ**

*Чижова Д.А., магистр, кафедра Светотехники НИУ «МЭИ»;
научный руководитель – Алексеев Е.А., ст. преподаватель,
кафедра Светотехники НИУ «МЭИ», г. Москва*

**DEVELOPMENT OF A CANTILEVER BEDSIDE LAMP FOR
MEDICAL INSTITUTIONS WITH THE FUNCTION OF BIOLIGHT
CORRECTION**

*Chizhova D., master's degree, Department of Lighting Engineering
NRU "MPEI", Moscow;
Scientific supervisor Alekseev E., senior lecturer,
Department of Lighting Engineering NRU "MPEI", Moscow*

Аннотация

Статья посвящена разработке новой конструкции настенного прикроватного светильника и новой концепции реализации здоровой световой среды, совместно реализующая дополнительные функции, связанные с повышением качества освещения и ускорением процессов больничной терапии. Прикроватные светильники представляют собой устройства общего или местного освещения, предназначены для использования в палатах для лежачих больных в госпиталях, больницах и других медико-реабилитационных учреждениях.

В статье рассматриваются особенности применения технологий экологичного освещения для реализации здоровой среды в больничной палате. В частности, предложены новые приемы освещения и светильники общего и местного освещения, для терапевтической биосветовой коррекции процесса выздоровления пациентов. В данной работе представлена разработка концепта прикроватного светильника, состоящая из трех раздельно регулируемых секторов, каждый из которых светят независимо друг от друга, имеют свойства индивидуальной настройки уровней яркости и цветовой температуры под каждого пациента для обеспечения нужного уровня освещенности. Светильник обеспечивает максимальную реализацию технологии HCL. Проведен эксперимент, целью которого было выявление особенностей выбора светопроницающих материалов, используемых в качестве рассеивателей. Предложено учитывать изменение формы/сдвиг спектральных кривых излучения, при реализации HCL-технологий эргономичного освещения.

Abstract

The article is devoted to the development of a new design of a wall bedside lamp and a new concept for the implementation of a healthy light environment, jointly implementing additional functions related to improving the quality of lighting and accelerating the processes of hospital therapy. Bedside lamps are devices of general or local lighting, designed for use in wards for bedridden patients in hospitals, hospitals and other medical rehabilitation institutions.

The article discusses the features of using environmentally friendly lighting technologies to create a healthy environment in a hospital ward. In particular, new lighting techniques and lamps for general and local lighting have been proposed for therapeutic biolight correction of the healing process of patients. This paper presents the development of a bedside lamp concept, consisting of three separately adjustable sectors, each of which shines independently of each other, and has the ability to individually adjust brightness levels and color temperature for each patient to ensure the desired level of illumination. The luminaire provides maximum implementation of HCL technology. An experiment was conducted, the purpose of which was to identify the features of the choice of light-transmitting materials used as diffusers. It is proposed to take into account the change in shape/shift of spectral radiation curves when implementing HCL technologies for ergonomic lighting.

Ключевые слова: медицинский прикроватный светильник, биосветовая коррекция, невизуальное действие света, здоровая среда

Keywords: *medical bedside lamp, light correction, non-visual effect of light, healthy environment*

Введение

В современном мире важно не только качественное и комфортное освещение, не только различные количественные и качественные характеристики освещения, но и такие параметры, как биологические и психологические характеристики освещения.

Люди, находясь большую часть времени в помещениях, получают крайне малое количество естественного освещения, что может пагубно влиять на их здоровье, необходимо внедрять в систему искусственного освещения свет, ориентирующийся на циркадные ритмы человека. Освещение является одним из важнейших элементов, позволяющий нам найти баланс между потребностями пациентов и медицинского персонала. Динамическое освещение благоприятно воздействует на биоритмы человека, что способствует улучшению восстановления и регенерации клеток [1]. С помощью энергоэффективных решений можно добиться наиболее высоких результатов в медицинской сфере. В данной

работе предлагается рассмотреть влияние материала рассеивателя на параметры «выходящего» излучения (спектральный состав, цветовая температура) и представить концепцию консольного прикроватного светильника для помещения типовой больничной палаты.

Методика исследования

В процессе исследования установлено, что максимальное влияние на реализацию ключевой идеи благотворного фактора невизуального действия света на процесс выздоровления человека имеют характеристики светодиодов (спектральный состав и индексы цветопередачи), и параметры светопропускающих/светоотражающих материалов (стабильность параметров во времени, индексы желтизны, влияние на выходящий спектральный состав излучения светильника в начальный период и в период эксплуатации). С учетом имеющихся научных данных [2] по требуемым длинам волн для максимальной эффективности воздействия на естественные циркадные ритмы человека, выбраны светодиодные линейки для комплектации, и параметры регулируемого блока питания/драйвера моделируемого светильника.

Для эксперимента подобран светодиодный линейный светильник с набором съемных рассеивателей с различными коэффициентами светопропускания (от 56% до 97%), которые поочередно менялись с целью измерения спектральных характеристик светового потока. Для измерений использовался спектро-гониофотометр Ibsen Photonics Freedom Viso с базовой системой LabSpion.

Результаты

Материал рассеивателя может изменять спектр, из-за того что в начале эксплуатации имеет небольшую селективность, которая в процессе использования может возрасти. Для наиболее эффективной реализации технологии человеко-центричного освещения (HCL-технологии), есть возможность спрогнозировать заранее данное изменение спектральных характеристик. Светодиод обладает, в частности, параметрами спектра, коррелированной цветовой температурой и углом рассеяния. Имеются линзы и рассеиватель, которые дают нужные углы рассеяния и формируют светораспределение, убирают «точечность» и блескость светодиодов, но есть и отрицательный эффект от наличия рассеивателя, в частности - изменяется качество спектра (ухудшается красная составляющая в спектре, и цветопередача). На рис.1 показан пример обработки результатов измерений (рассеиватель №1).

В ходе эксперимента происходит смещение коррелированной цветовой температуры в сторону более теплой цветовой температуры. Это препятствует создать механизм эффективного циркадного регулирования. Поэтому при проектировании прикроватного

светильника, мы должны учитывать это и фактор изменения характеристик рассеивателя в процессе эксплуатации (индекс желтизны). Наиболее заметен данный эффект на матовом рассеивателе. В то же время, данный тип рассеивателя максимально эффективно убирает блескость, «точечность» от линеек светодиодов, создавая наиболее комфортное мягкое равномерное освещение. Осветительная установка включает в себя настенный светильник на базе экструдированного алюминиевого профиля.

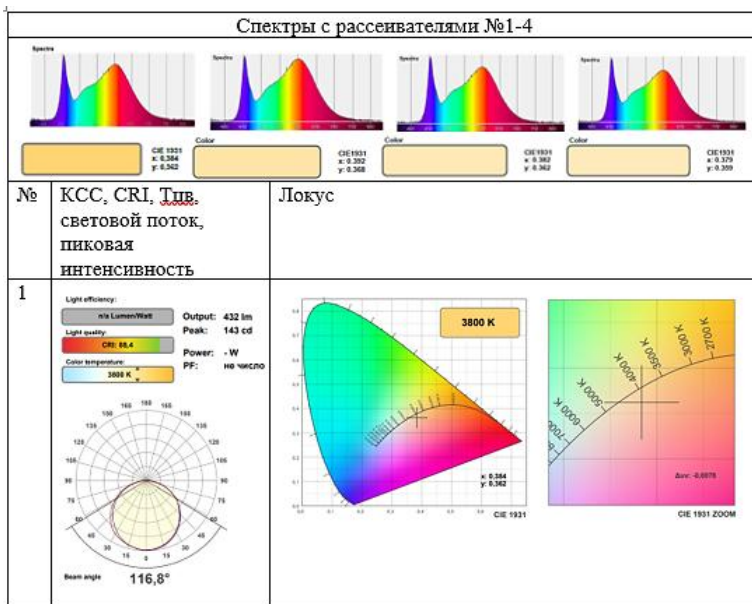


Рис. 1. Пример обработки результатов (рассеиватель № 1)

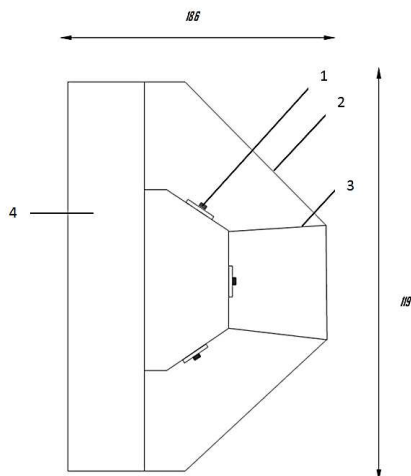


Рис. 2. Конструкция профиля

Профиль имеет секционную конструкцию, состоящую из трех основных секторов (рис. 2). Биодинамический настенный консольный светильник имеет линейную форму корпуса. 1 обозначены – платы для светодиодных линеек (могут быть размещены несколько штук, друг за другом или иметь несколько рядов в секции), 2 – рассеиватель, 3 – металлические перегородки между секторами, покрытые белой светотехнической диффузно-отражающей эмалью, 4 – корпус светильника с блоком питания. Комплектация светильника: нижняя секция светильника обеспечивает освещенность прикроватной зоны для чтения – 300 лк. Средняя секция светильника обеспечивает общее освещение не менее 100 лк, на уровне пола. Верхняя секция обеспечивает верхнее освещение, совместно с системой прямого общего освещения (будет рассмотрена далее). В качестве излучающих светодиодов: серия четырехканальных светодиодных линеек с использованием высокоэффективной COB-технологии и оптимизированным спектральным составом освещения. Отличительной особенностью этой серии являются требуемые характеристики излучения, имеющие пики чувствительности в диапазоне длин волн 470 – 477 нм и 580 нм [3]. Особенность этих светодиодных линеек – полный спектр излучения и прекрасная передача красного цвета (R9: не менее 80), индекс цветопередачи CRI > 95.

Внутри светильника в каждом из трех секторов (расположенных под углом) закреплены по несколько светодиодных линеек теплого и холодного свечения, спектр излучения которых скорректирован с учетом полученных экспериментальных данных. В зависимости от количества линеек можно подобрать необходимые параметры по мощности/световому потоку, разработать сценарии управления светом, и необходимую цветовую температуру. При этом управление этими параметрами осуществляется отдельно по каждой из трех секций. Для реализации такого человеко-центричного биодинамического освещения нужна система управления, имеющая следующие элементы: датчик освещенности/мультисенсор, блок питания, контроллер, с возможностью управления (по протоколу DALI2), и собственно – система освещения больничной палаты.

Обсуждение

Для полноценной реализации системы человеко-центричного освещения в условиях больничной палаты, необходимо предусмотреть реализацию всех приемов освещения: прямое верхнее освещение (общее освещение), настенное комбинированное освещение (рассмотрено ранее), и скрытая градиентная подсветка стены (для создания вертикальной освещенности и улучшения условий восприятия лежачего больного). На рис. 3 представлены варианты указанных приемов освещения на модели интерьера больничной палаты. Общее освещение

предлагается реализовать посредством распределенных потолочных светильников. При этом получим лучший комфорт и более качественные светотехнические параметры освещения: лучше равномерность, меньше блескость, привлекательный дизайн системы освещения. Декоративный потолочный свет выполнен в виде знака зодиака (рисунок № 3), состоящий из визуально интересной системы потолочных светильников, соединенных в единую визуальную форму.

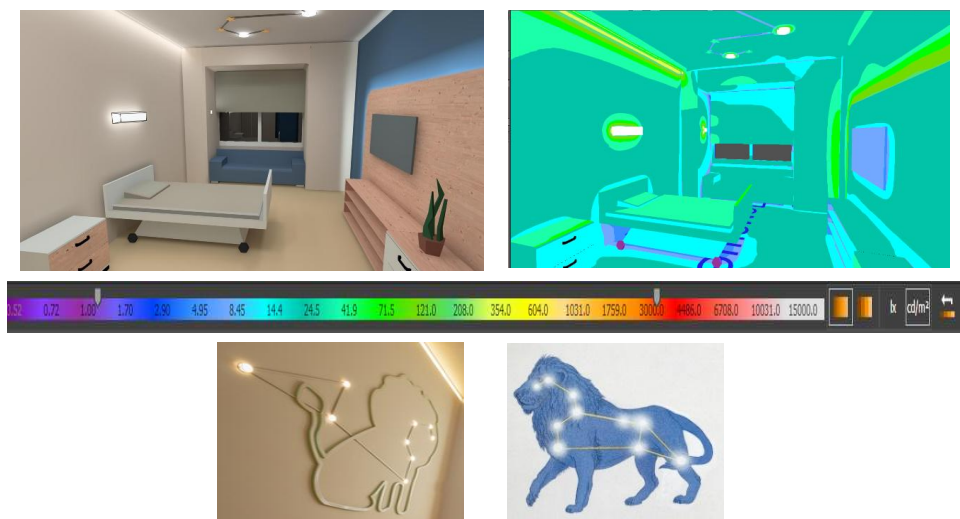


Рис. 3. Визуализация палаты и приемов освещения

Выводы

Разработана осветительная установка больничной палаты, а также прикроватный светильник, в совокупности максимально реализующий все составляющие человеко-центричного освещения. Свет воздействует на циркадные ритмы, имитирует суточные ритмы солнечного света – все это позволит ускорить выздоровление пациентов. Более короткое пребывание означает меньшие затраты и экономию ресурсов, что для клиники будет серьезным аргументом в пользу применения качественного эргономичного освещения.

Список литературы

1. Дж. К. Брейнард, К. А. Бернекер. Влияние света на физиологию и поведение человека // Светотехника – 1996. - №1-2. – С. 10-13
2. Peter Boyse “Human Factors in Lighting”// v3, CRC Press, - 2014.
3. Светотехническая компания Vossloh-Schwabe – «4-х канальная линейка HCL» [Электронный ресурс]: www.vossloh-schwabe.com. (Дата обращения: 16.04.24).

**СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОЙ БЕСФЕРРИТНОЙ
ИНДУКЦИОННОЙ РТУТНОЙ ЛАМПЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ,
РАБОТАЮЩЕЙ НА ЧАСТОТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ПОЛЯ 1,7 МГц**

*Шавкунов А.Д., студент; Иликеева Р.А., старший преподаватель,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

**CONNECTION DIAGRAM OF AN ELECTRODE-FERRITE-FREE
LOW-PRESSURE INDUCTION MERCURY LAMP OPERATING
AT AN ELECTRIC FIELD FREQUENCY OF 1.7 MHz**

*Shavkunov A.D., student; Ilikeeva R.A., senior lecturer,
NRU "MPEI", Moscow*

Аннотация

В данной работе идет речь о разработке схемы включения безэлектродной бесферритной индукционной ртутной лампы низкого давления, работающей на частоте электрического поля 1,7 МГц, в сеть постоянного напряжения $U_c = 0 - 60$ В. Разработка пускорегулирующего аппарата для эффективного источника бактерицидного ультрафиолетового излучения является перспективным направлением, поскольку данный тип ламп имеет высокую эффективность ультрафиолетового излучения $\eta = 43 - 65\%$ на длине волны $\lambda = 254$ нм и большой срок службы $\tau \approx 100$ тыс. час. Однако известные в настоящее время безэлектродные бесферритные лампы имеют ряд недостатков, главный из которых – сложность и высокая себестоимость схемы включения ламп в электрическую сеть. В работе рассмотрена схема включения, которая включает в себя высокочастотный генератор с настраиваемой частотой, усилитель, работающий на мощных полевых транзисторах, и выходной каскад, состоящий из полевых транзисторов и двухобмоточного трансформатора. Моделирование электрической схемы производилось в программе MicroCap. Результаты, полученные при моделировании пускорегулирующего аппарата, способствуют дальнейшей разработке облучательной установки с безэлектродной бесферритной индукционной ртутной лампой низкого давления, работающей на частоте разрядного тока $f = 1,7$ МГц.

Abstract

This work deals with the development of a circuit for connecting an electrodeless, ferrite-free, low-pressure induction mercury lamp, operating at an electric field frequency of 1.7 MHz, into a DC voltage network $U_c = 0 - 60$ V. The development of a ballast for an effective source of bactericidal ultraviolet radiation is a promising direction, since this type of lamp has a high efficiency of ultraviolet radiation $\eta = 43 - 65\%$ at a wavelength $\lambda = 254$ nm and a long service life $\tau \approx 100$ thousand hours. However, currently known

electrodeless ferrite-free lamps have a number of disadvantages, the main one of which is the complexity and high cost of the circuit for connecting the lamps to the electrical network. The work considers a switching circuit that includes a high-frequency generator with an adjustable frequency, an amplifier operating on powerful field-effect transistors, and an output stage consisting of field-effect transistors and a two-winding transformer. The electrical circuit was simulated using the MicroCap program. The results obtained from modeling the ballast contribute to the further development of an irradiation installation with an electrodeless, ferrite-free, low-pressure induction mercury lamp operating at a discharge current frequency of $f = 1.7 \text{ MHz}$.

Ключевые слова: Пускорегулирующий аппарат, высокочастотный генератор, моделирование схем питания газоразрядных ламп, бесферритная безэлектродная индукционная лампа, ртутный разряд низкого давления, УФ-излучение.

Keywords: Ballast, high-frequency generator, modeling of power circuits for gas-discharge lamps, ferrite-free electrodeless induction lamp, low-pressure mercury discharge, UV radiation.

Введение

Индукционный бесферритный ртутный разряд низкого давления ($p_{Hg} = 1 \text{ Па}$) является весьма перспективным источником ультрафиолетового (УФ) бактерицидного резонансного излучения на длинах волн 253,7 и 184,9 нм. Основное достоинство данного типа ламп - отсутствие электродного узла, разрушение которого в процессе эксплуатации стандартных трубчатых ртутных ламп низкого давления (НД) оказывает негативное влияние на их срок службы [1].

В то же время, лампы трансформаторного типа, использующие в качестве индукторов катушки индуктивности с ферромагнитным усилением, имеют несколько весьма существенных недостатков: высокие требования к качеству «стыкующихся» полированных поверхностей двух половинок магнитопровода, а также дороговизна производства замкнутой трубки большого диаметра. Данные факторы обусловили низкую конкурентоспособность ламп трансформаторного типа среди прочих источников излучения, как видимого, так и ультрафиолетового диапазонов спектра. Однако, бесферритные индукционные лампы замкнутого типа лишены вышеперечисленных недостатков, отличаются простотой производства и высокой технологичностью благодаря использованию колб меньшего диаметра ($d = 16, 23 \text{ мм}$). Также, благодаря отсутствию магнитопровода, данные типы источников УФ излучения имеют более низкую стоимость и высокую надежность.

Таким образом, индукционная бесферритная ртутная лампа является эффективным источником бактерицидного резонансного излучения на длинах волн 253,7 и 184,9 нм, существенным недостатком которой является дороговизна и технологическая сложность пускорегулирующего аппарата (ПРА)[2]. Следовательно, разработка ПРА, обеспечивающего разгорание плазмы и поддерживающего устойчивый режим работы лампы в электрическом контуре является актуальной задачей.

Метод исследования

Для обеспечения стабильной и устойчивой работы лампы необходимо подавать на катушку индуктивности, подключенную к лампе, переменное напряжение с заданной амплитудой напряжения и частотой 1,7 МГц. Питание пускорегулирующего аппарата в ходе эксперимента обеспечивал лабораторный блок питания, который выдавал на выходе постоянное напряжение 60 В для силовой части генератора и 15 В для управляющей. Для обеспечения необходимых характеристик схемы включения в ходе работы были разработаны несколько блоков принципиальной схемы, состоящие из генератора частоты, преобразователя сигнала, усилителя сигнала, конвертера, преобразователя 15-5 В и защиты по току. Блок-схема высокочастотного генератора представлена на рис. 1.

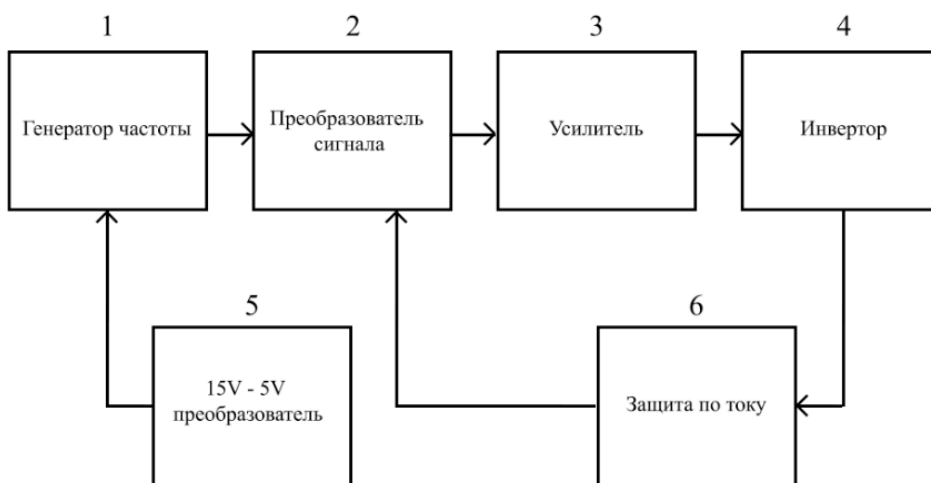


Рис. 1. Блок-схема высокочастотного генератора

Схема работает следующим образом. Генератор частоты задает прямоугольный логический сигнал амплитудой 5 В с заданной частотой, которая настраивается сдвиговыми резисторами. Сигнал на выходе генератора частоты указан на рис. 2.

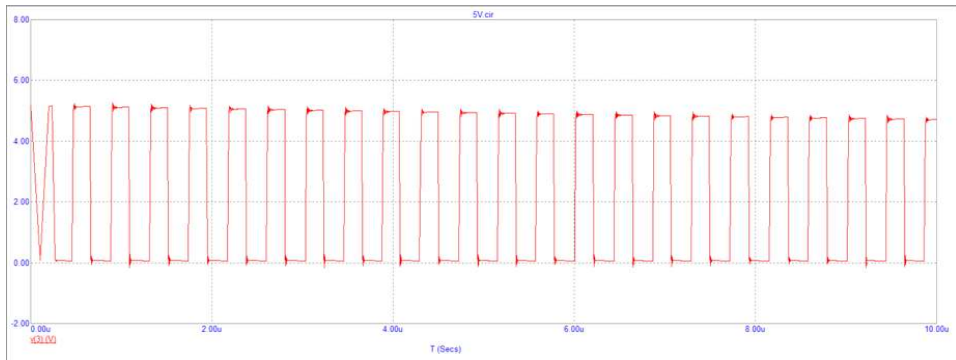


Рис. 2. Сигнал на выходе генератора частоты

Преобразователь сигнала раздваивает сигнал на два сигнала, которые сдвинуты друг относительно друга на π , далее форма сигнала корректируется. После сигнал усиливается до значения амплитуды 15 В и приходит на двухобмоточный трансформатор, на выходе которого получается два сигнала, которые смещены друг от друга на напряжение питания инвертора U_{num} . Инвертор преобразует сигнал, приходящий на затворы транзисторов в высоковольтный сигнал напряжением U_{num} . Защита по току обеспечивает не допущение выхода из строя схемы из-за перегрузки на силовой части. Преобразователь трансформирует постоянное напряжение 15 В в постоянное напряжение 5 В для питания логической части схемы.

Оценка схемы питания производилась в среде моделирования *Micro-Cap* [2]. Электрическая модель высокочастотного генератора, разбитая на блоки из блок-схемы на рис. 1, представлена на рис. 3.

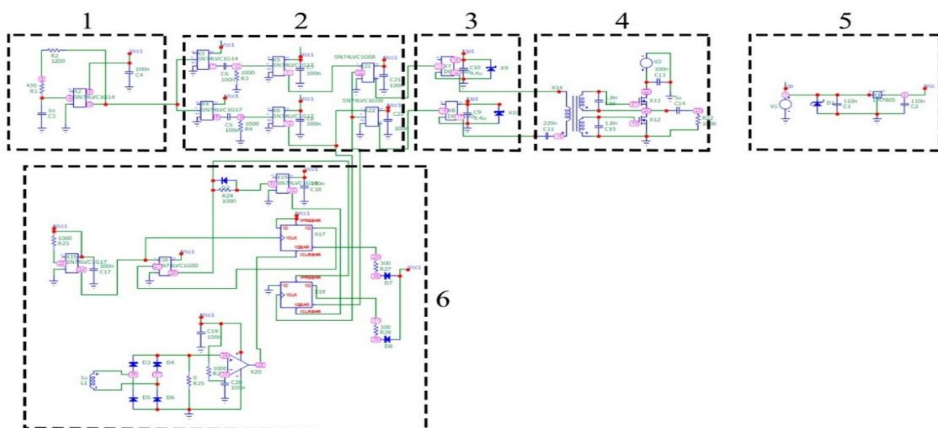


Рис. 3. Электрическая модель высокочастотного генератора

Результаты

После разработки и моделирования пускорегулирующего аппарата были получены следующие результаты: на выходе генератора формируется прямоугольный сигнал с заданной сдвиговыми резисторами частотой ν и амплитудой 60 В. Форма выходного сигнала представлена на рис. 4.

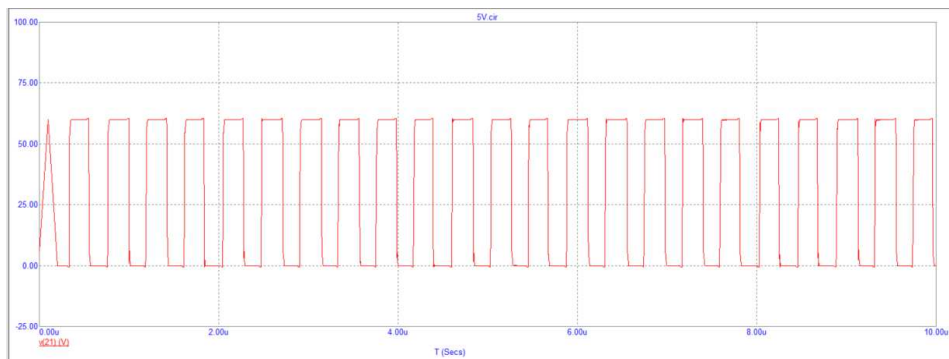


Рис. 4. Выходной сигнал

Обсуждение

В наше время, в особенности после пандемии COVID-19, крайне остро стоит вопрос обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях медицинских учреждений, пищевых предприятиях, а также местах большого скопления людей. Современные источники бактерицидного излучения, такие как трубчатые ртутные лампы НД или УФ-светодиоды, имеют существенные недостатки, такие как невысокий срок службы и относительно небольшой КПД генерации УФ-излучения $\eta_{265 \text{ нм}} = 30 - 50\%$. Твердотельные источники имеют очень низкий КПД генерации УФ-излучения $\eta_{265 \text{ нм}} = 1 - 3\%$ и высокую стоимость. В то же время, бесферритные безэлектродные индукционные лампы НД имеют высокий КПД генерации УФ-излучения $\eta_{265 \text{ нм}} = 43 - 65\%$, высокий срок службы и высокую технологичность производства. Одним из самых существенных ее недостатков является дорогой пускорегулирующий аппарат. Решив данную проблему, будет возможно и выгодно использовать данный источник бактерицидного излучения для обеззараживания воды и поверхностей.

Выводы

В работе представлен пускорегулирующий аппарат для бесферритной безэлектродной индукционной лампы НД, работающий в мегагерцовом диапазоне. В генераторе используется минимальное

количество логических элементов и силовых транзисторов, что делает его дешевым и практичным. Стоимость компонентов для данной схемы не превышает 5000 руб., при этом схема довольно проста в реализации.

Список литературы

1. *Попов О.А.* Исследование и разработка индукционных люминесцентных источников света на частотах 100-15000 кГц: дисс.докт. техн. наук. – М. 2012.
2. *Попов О.А.* Эффективный источник света на индуктивном бесферритном разряде на частотах 300-3000 кГц. Журнал технической физики. 2007. Т.77. вып.6
3. *Амелина М.А., Амелин С.А.* Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9,10. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. – 618 с., ил.

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ МОРСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ЛАЙНЕРОВ

Шестерикова И.С., бакалавр

Научный руководитель – Фомин А.Г., к.т.н., доцент,

НИУ «МЭИ», г. Москва

INTERIOR LIGHTING ASPECTS OF MARINE PASSENGER LINERS

*Irina A. Shesterikova, B. S. E.; Alexander G. Fomin, Ph.D. of Engineering
Sciences, National Research University MPEI, Moscow, Russia*

Аннотация

В статье анализируется ситуация, сложившаяся с проектированием освещения крупных морских пассажирских лайнеров в нашей стране на данный момент. Обращается внимание на неразвитость на данный момент соответствующей отечественной отрасли, занимающейся постройкой судов такого класса, а также фактическое отсутствие актуальных норм освещения для жилых и общественных помещений на пассажирских лайнерах. Проведён сравнительный анализ норм внутреннего освещения круизных лайнеров в советское время и в настоящее время. Выработаны предложения по актуализации данных норм, на их основе разработан пример проекта освещения палубы реального круизного лайнера. Установлено, что проект удовлетворяет современным требованиям внутреннего освещения судов, что позволяет рекомендовать новые нормы для внедрения в практику проектирования.

Abstract

The article analyzes the current situation with the design of lighting for large sea passenger liners in our country at the moment. Attention is drawn to the current underdevelopment of the relevant domestic industry involved in the construction of ships of this class, as well as the virtual absence of current lighting standards for residential and public spaces on passenger liners. A comparative analysis of the standards for interior lighting of cruise ships was carried out in Soviet times and at present. Proposals for updating these standards have been developed, and on their basis an example of a deck lighting project for a real cruise ship has been developed. It has been established that the project meets modern requirements for interior lighting of ships, which allows us to recommend new standards for implementation in design practice.

Ключевые слова: нормы освещения, внутреннее освещение, освещение судов, освещение круизных лайнеров, освещение жилых помещений, освещение общественных помещений.

Keywords: *lighting standards, interior lighting, ship lighting, cruise ship lighting, residential lighting, public lighting.*

Введение

Основным направлением в судостроении СССР было построение маломерных и быстроходных морских и речных судов. Но так исторически сложилось, что крупные пассажирские суда традиционно по заказу строились на зарубежных судостроительных заводах стран соцлагеря (ГДР, Венгрии, Чехии и др.) и в Австрии [1].

В период кризиса отечественной экономики 1980-х – 90-х годов произошло резкое сокращение заказов на строительство судов, что привело к тяжелому экономическому положению всех судостроительных заводов страны. Экономическое положение населения тоже было тяжелым. Для туристических маршрутов хватало судов, закупленных еще СССР.

На данный момент срок службы старых пассажирских судов подходит к концу, а интерес к внутреннему водному туризму стремительно растет. Для того, чтобы они могли соответствовать современным требованиям, необходимо их целиком перестраивать или заменить. Проблема заключается в том, что своей пассажирской судостроительной промышленности в России нет [2].

Электрическое освещение на судах разделяется на основное (внутреннее и наружное), аварийное и переносное. Основное внутреннее используется во внутренних помещениях судна, а аварийное применяется для временного обеспечения минимальной видимости в тех помещениях, где при прекращении основного освещения необходимо обеспечение безопасного выхода людей из помещения. Светильники аварийного освещения имеют отличительные знаки, включаются централизованно и питаются от аварийной судовой электростанции.

Для освещения каждого вида транспорта существуют свои ведомственные и местные нормативные акты, правила и законы.

Для пассажирских судов также существуют свои нормы. Они описаны в СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры» [1] в Приложении 1, Таблицы 4 – Нормы искусственного освещения судовых помещений. Однако анализ этой таблицы показывает, что в ней отсутствуют нормы освещения для многих общественных помещений, таких как кинозалы, магазины, бассейны, лекционные залы, библиотеки, прачечные, гладильные, салоны красоты и так далее. Все эти объекты обязательно присутствуют на больших судах, так как они необходимы для комфортного отдыха и проведения разнообразного досуга. Существующие Санитарные Правила определяют в основном нормы освещения для служебных и технических помещений, таких как штурманские, радиорубки, аккумуляторные, машинные помещения, помещения распределительных щитов, посты управления. Руководствуясь данными нормами, невозможно осветить

все помещения круизного лайнера, поэтому для комплексного освещения судна эти нормы недостаточны.

В 1981 году Минздравом СССР были утверждены «Нормы искусственного освещения на судах морского флота» [4], где присутствовали нормы освещения как служебных, так и разнообразных досуговых помещений, но в связи с принятием постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 25.11.2020 данный документ утратил силу. Взамен этого документа новых норм для данного вида транспорта введено не было. Поэтому на данный момент комплексных норм освещения крупных пассажирских судов нет.

Метод исследования

В ходе нашей работы был проведен сравнительный анализ Строительных норм и правил (СНиП II-4-79) «Естественное и искусственное освещение», Свода правил Естественное и искусственное освещение (СП 53.13330.2016) и [4] с целью определения общих тенденций в изменении норм освещения за прошедшее время.

Так как в некоторых нормах представлен такой параметр, как показатель дискомфорта по методу МЭИ (М), для более легкого сравнения он был трансформирован в объединенный показатель дискомфорта (UGR) согласно табл. 1.

Таблица 1. Соотношение между UGR и показателя дискомфорта (М)

М	40	60	70
UGR	21	24	25

В первую очередь было проведено сравнение СНиП II-4-79 с действовавшими в тот же период нормами искусственного освещения на судах [4]. В таблице ниже приведены нормы для некоторых помещений одинакового назначения.

Таблица 2. Сравнение Старых норм искусственного освещения.

Тип помещения	СНиП II-4-79				Нормы №2506-81			
	Ен	Ец	UGR	U ₀	Ен	Ец	UGR	U ₀
Номер (каюта)	Г-0,8 100	-	-	-	Г-0,0 100	-	-	-
Спортивный зал	Г-0,0 200 В-2,0 75	-	21	-	Г-0,0 200	-	21	-
Магазин	Г-0,8 300	100	21	-	Г-0,8 300	-	25	-
Ресторан (обеденные залы)	Г-0,8 200	75	24	-	Г-0,8 200	-	25	-
Читальный зал	Г-0,8 300	100	21	-	Г-0,8 200	-	-	-
Коридоры	Г-0,0 50	-	-	-	Г-0,0 75	-	-	-

Как видно из таблицы, общегражданские и судовые нормы того времени практически идентичны, однако в нормах искусственного освещения на судах отсутствует такой показатель как цилиндрическая освещенность, что важно для некоторых видов общественных помещений, таких как магазины, читальные залы, спортивные залы и т.д. Кроме этого, на судах допускался более высокий уровень дискомфорта блёскости.

По сравнению со СНиП II-4-79, в ныне действующих общегражданских нормах (СП 52.13330.2016) многие численные значения были повышены, а также были введены дополнительные нормируемые характеристики (равномерность, индекс цветопередачи, больше стало помещений, где нормируется UGR, цилиндрическая и вертикальная освещенности). Современные нормы освещения стали гораздо детальнее и сложнее, поэтому можно сказать, что нормы искусственного освещения 1981 года для морских судов значительно устарели.

Таблица 3. Сравнение Норм №2506-81 и СП 52.13330.2016

Тип помещения	Нормы №2506-81				СП 52.13330.2016			
	Ен	Ец	UGR	U0	Ен	Ец	UGR	U0
Номер (каюта)	Г-0,0 100	-	-	-	Г-0,0 300	-	22	-
Спортивный зал	Г-0,0 200	-	21	-	Г-0,0 300	В- 2,0 75	22	0,6
Магазин	Г-0,8 300	-	25	-	Г-0,8 400	100	19	0,4
Ресторан	Г-0,8 200	-	25	-	Г-0,8 300	-	22	0,4
Читальные залы	Г-0,8 200	-	-	-	Г-0,8 500	150	19	0,6
Коридоры	Г-0,0 75	-	-	-	Г-0,0 100	-	25	0,4

Результаты

Для оценки возможности применения современных общегражданских норм освещения ко внутреннему освещению пассажирских судов был разработан демонстрационный проект освещения пятой палубы круизного лайнера «MSC Belissima», содержащей 23 каюты отдыхающих (класса «люкс» и обычных) с санузлами, коридор, лестничные пролеты, тренажерный зал, магазин, игровой клуб, компьютерный клуб, помещение для проведения мастер классов. В качестве основы для расчётов были использованы нормируемые значения из СП52.13330-2016, сопоставленные с [4] (табл. 3).

В проекте были использованы светильники от производителей SEAES, AMЭО, QUICK и GALAD на напряжение 24 и 230В, имеющие сертификат Морского регистра [5]. План расстановки светильников показана на рис. 1.

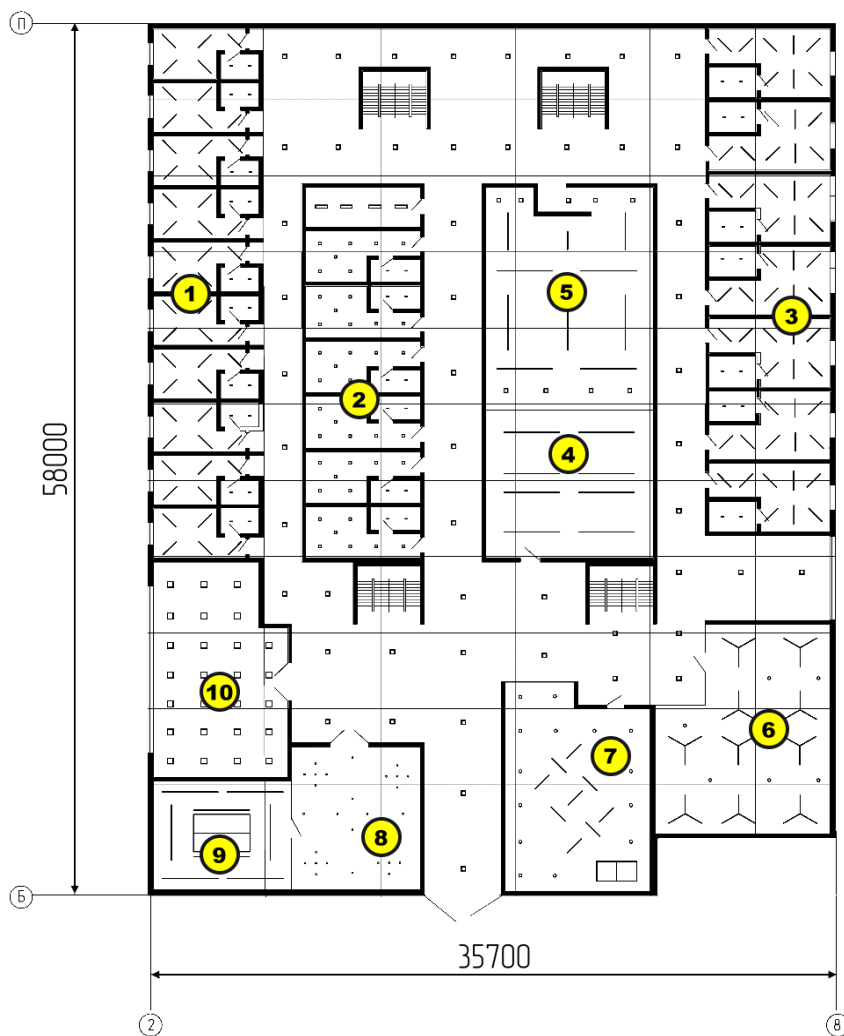


Рис. 1. План расстановки светильников на палубе лайнера. Цифрами обозначены основные помещения: 1 – каюты класса «эконом+», 2 – каюты класса «эконом», 3 – каюты класса «комфорт», 4 – библиотека, 5 – читальный зал, 6 – тренажёрный зал, 7 – магазин, 8 – игровой клуб, 9 – компьютерный салон, 10 – мастерская.

Для всех помещений был выполнен светотехнический расчёт всех нормируемых характеристик, а также была проведена проверка на соответствие достигнутых значений требованиям норм.

Выводы

Проведённые расчёты показали, что параметры световой среды во всех помещениях отвечают современным требованиям к освещению для соответствующих видов зрительной работы. На рис. 2 показана визуализация освещения тренажёрного зала.

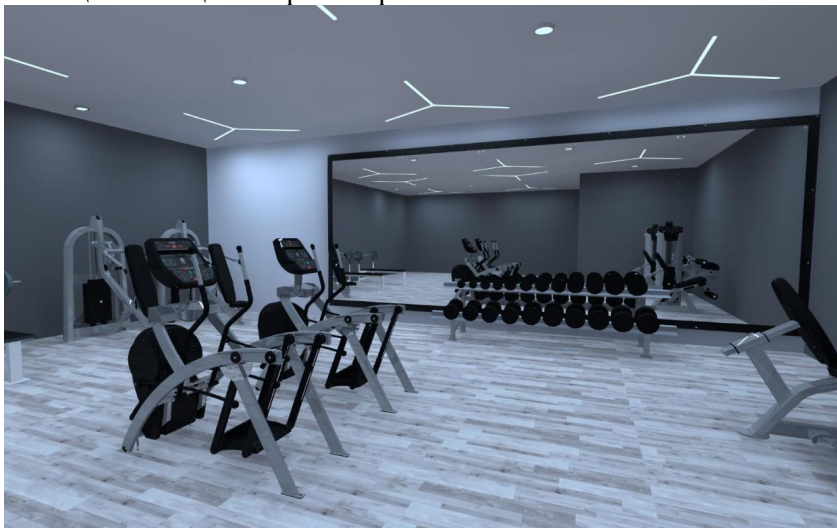


Рис. 2. Визуализация освещения тренажёрного зала

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение общегражданских норм освещения для аналогичных помещений круизных судов. Вместе с этим, на их основе было бы целесообразно разработать новые отраслевые нормы для всех видов помещений туристических судов, с учетом всех современных факторов и требований к освещению. Это поможет комплексно освещать новые суда, создаваемые в нашей стране в настоящее время.

Список литературы

1. *Александрова Т.Е.* Судостроение России: Проблемы и перспективы развития // Транспортное дело России. – 2010. №5. С. 58–62.
2. *Сидоров А.* Судостроение России: долгая дорога к возрождению // Морские вести России – 2024. №3. URL: <https://morvesti.ru/analitika/1692/108519/> Режим доступа 30.06.2024.
3. *СП 2.5.3650—20.* Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры; введ. 2020-16-10.
4. *ГН 2506—81* «Нормы искусственного освещения на судах морского флота».
5. Российский морской регистр судоходства. Правила Классификации и постройки морских судов. Часть XI Электрическое оборудование; введ. 2018-04-04. – СПб., 2018. – 135 с.

**АРХИТЕКТУРА И
СВЕТОВОЙ ДИЗАЙН**

**ARCHITECTURE &
LIGHTING DESIGN**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

*Иванова А.Е., студент; Макаров Д.Н., к.т.н.,
старший преподаватель, НИУ «МЭИ», г. Москва*

DESIGNING OUTDOOR LIGHTING USING VIRTUAL REALITY

*Ivanova A.E., student; Makarov D.N., Candidate of Technical Sciences,
senior lecturer, National Research University MPEI, Moscow*

Аннотация

В данной работе разработан инновационный подход к представлению различных вариантов освещения, обеспечивающий интерактивную среду между пользователем и объектом проектирования. Благодаря применению разработанной методики, можно значительно сократить время, необходимое для процесса рендеринга, а также существенно оптимизировать использование ресурсов, при этом не прибегая к ухудшению качества конечного продукта. Метод визуализации, который был тщательно изучен в ходе исследования, открывает перед потребителями широкие горизонты для глубокого и всестороннего анализа и оценки различных предложенных вариантов освещения. Это даёт возможность каждому клиенту убедиться в выбранном решении и чувствовать себя полноправным участником процесса проектирования.

Кроме того, в работе были рассмотрены и предложены стратегии и подходы, направленные на активное развитие и продвижение архитектурного и ландшафтного освещения в районах провинции нашей страны. Исследование включало в себя разработку эффективных и инновационных вариантов наружного освещения для общественных пространств, а также детальное рассмотрение путей их практической реализации. Эти разработки могут стать важным шагом в улучшении качества жизни и привлекательности городских и сельских территорий.

Abstract

This paper develops an innovative approach to presenting different lighting options, providing an interactive environment between the user and the design object. Thanks to the application of the developed methodology, it is possible to significantly reduce the time required for the rendering process, as well as significantly optimize the use of resources, without compromising the quality of the final product. The visualization method, which was carefully studied during the study, opens up wide horizons for consumers to deeply and comprehensively analyze and evaluate the various proposed lighting options. This allows each client to be convinced of the chosen solution and feel like a full participant in the design process.

In addition, the work examined and proposed strategies and approaches aimed at the active development and promotion of architectural and landscape lighting in the provincial regions of our country. The research included the development of effective and innovative outdoor lighting options for public spaces, as well as detailed consideration of ways to implement them in practice. These developments can be an important step in improving the quality of life and attractiveness of urban and rural areas.

Ключевые слова: Наружное освещение, общественное пространство, гостиничный комплекс, виртуальная реальность, тур виртуальной реальности, методы проектирования, архитектурное освещение, ландшафтное освещение, VR.

Keywords: *Outdoor lighting, public space, hotel complex, virtual reality, virtual reality tour, design methods, architectural lighting, landscape lighting, VR.*

Введение

В непрерывном развитии человечества каждый новый день приносит с собой прогресс, который неизменно меняет нашу повседневную жизнь. Всего лишь пару лет назад, демонстрация двухмерной визуализации с концепцией освещения, считалась настоящим прорывом. Но время не стоит на месте, и сегодня, этот метод уже не может претендовать на статус конкурентоспособного. С каждым днем рынок предлагает всё более совершенные решения, и то, что было удивительным несколько лет назад, теперь уже не в состоянии удовлетворить повышающиеся требования современной индустрии. Одной из ключевых целей данной работы является разработка инновационного подхода к представлению различных вариантов освещения.

Освещение играет ключевую роль в повседневной жизни современного человека, оказывая значительное влияние на его деятельность. Однако, свет может удовлетворить не только утилитарные потребности, но и эстетические. Уже не один десяток лет в крупных городах России активно разрабатываются и внедряются программы по наружному освещению центральных улиц и площадей, что позволяет не только повысить безопасность перемещений, но и создавать неповторимый городской ансамбль.

В меньших городах и регионах, этому не уделяется внимание. Однако, потребность в качественном освещении, которое бы способствовало не только удобству и безопасности, но и красоте окружающего пространства, существует у местных жителей. В данной работе осуществляется разработка качественной концепции освещения для общественного пространства в провинции.

Методы исследования

Объектом проектирования был выбран гостиничный комплекс «Рыбацкая деревня», который находится в деревне Шумашь в Рязанской области. Это место было создано для современного человека, живущего в городском ритме, для возможности единения с природой (рис. 1).



Рис. 1. Гостиничный комплекс «Рыбацкая деревня»

Удивительный гостиничный комплекс очень завораживает и вдохновляет, но с заходом солнца вся красота каменной постройки гаснет, ведь там совсем не продумано освещение. По словам основателя «Рыбацкой деревни», архитектурное освещение не было заложено в постройку из-за элементарного незнания об эстетической важности света.

Первый этап проектирования включает в себя создание вариантов освещения. Для этого будет использован мощный графический редактор Adobe Photoshop.

Совместно с владельцем гостиничного комплекса были разработаны первые варианты освещения комплекса. Основным пожеланием был полный отказ от установки осветительных приборов на землю. По мнению владельца, днём осветительные приборы никак не вписываются в созданный природный ландшафт и портят внешний вид природного комплекса. Также, владелец комплекса просил создать эффект «живых» окон, чтобы поселок был наполнен жизнью. Позже варианты были отредактированы и усовершенствованы. Было принято решение моделировать три варианта освещения главной достопримечательности – маяка, а также три варианта освещения жилых построек (рис. 2 и рис. 3).



а б в
Рис. 2. Варианты освещения маяка: *а* – первый вариант; *б* – второй вариант; *в* – третий вариант



а б в
Рис. 3. Варианты освещения домиков: *а* – первый вариант; *б* – второй вариант; *в* – третий вариант

На втором этапе проектирования обеспечивалось моделирование гостиничного комплекса. Владелец комплекса предоставил чертежи всех построек в программе AutoCAD. Моделирование производилось в программном обеспечении Autodesk 3dsMax (рис. 4).

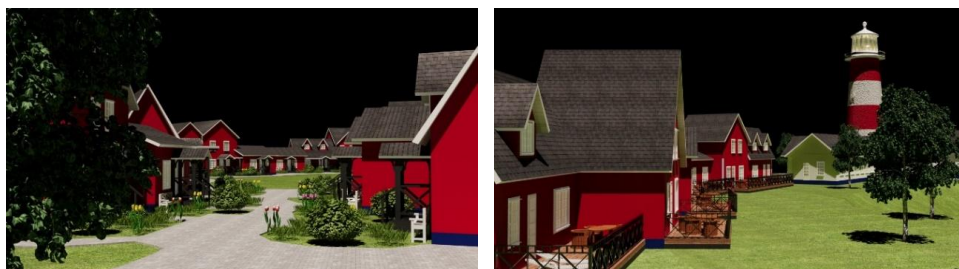


Рис. 4. Модель гостиничного комплекса при дневном освещении.

Основываясь на концепциях, представленных ранее, были подобраны светотехнические приборы от лидирующих Российских производителей (рис. 5).

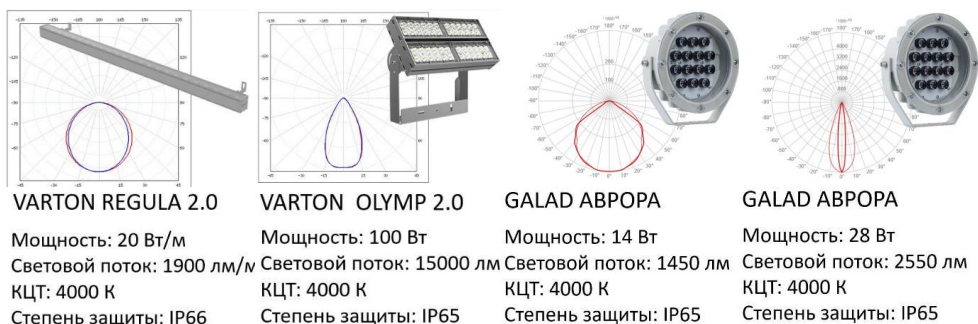


Рис. 5. Светотехническое оборудование

Для создания эффекта «живых окон» был смоделирован светотехнический прибор в программе SolidWorks. Затем модель была загружена в программное обеспечение для оптической инженерии TracePro для расчета кривой силы света (рис. 6).



Рис. 6. Смоделированный светотехнический прибор

Также, для освещения маяка была подобрана классическая герметичная светодиодная лента от компании Вартон серии VLS. Мощность ленты 14.1 Вт/м. Коррелированная цветовая температура: 4000 К. Степень защиты IP68.

Третий этап проектирования подразумевает расчет освещения и визуализации. Отстроенные модели в программе Autodesk 3dsMax гостиничного комплекса «Рыбацкая деревня» представленные ранее были перенесены в профессиональное программное обеспечение для проектирования DIALux Evo для проверочного расчета.

После анализа различных концепций освещения и получения соответствующих значений, отвечающих нормам, было произведено проектирование освещения в программе Autodesk 3dsMax с интегрированным движком рендеринга Corona Renderer. Для более наглядной демонстрации вариантов освещения были собраны туры виртуальной реальности с полученными визуализациями в сервисе

Kuula. Достаточно просто навести камеру телефона на код, перейти по ссылке и наслаждаться прогулкой по проектируемому объекту (рис. 7).



Рис. 7. Полученные варианты освещения комплекса «В некотором царстве» (а), «Вперед в прошлое» (б), «Космическая станция» (в)

В результате опроса среди потенциальных посетителей комплекса победила концепция освещения «В некотором царстве». Было принято решение выполнить проектирование этой концепции в игровом движке Unity. В полученной игре была добавлена возможность свободного перемещения по комплексу в очках виртуальной реальности (рис. 8).



Рис. 8. Графический код на скачивание игры для операционной системы iOS

Результаты

Для гостиничного комплекса «Рыбацкая деревня» были разработаны три концепции освещения с учетом требований владельца комплекса. Применен инновационный оптимальный путь проектирования, оправдывающий ресурсы и создающий интерактивную среду между пользователем и объектом проектирования. Проект вызвал ажиотаж среди СМИ и частных предпринимателей России, что привело к популяризации архитектурного и ландшафтного освещения в районах провинции. На данный момент уже несколько проектных организаций запрашивают проектирование наружного освещения именно этим методом.

Обсуждение

Ещё в конце прошлого столетия в книге «Световая архитектура» (1973 г.) Николай Михайлович Гусев и Вадим Григорьевич Макаревич

обозначили проблему сложности приемов и методов проектирования наружного освещения. В 1990-х годах область архитектурного проектирования была преобразована в результате широкого распространения компьютеров и программ САД. Эта революция повлияла на весь процесс проектирования от начала до конца. Тема проектирования освещения в игровых движках ещё мало затронута, но начало положено. В статье «Дополненная и виртуальная реальности в световых инсталляциях и ночной городской среде», вышедшей в журнале «Светотехника» (2022, №5), Карпенко Владимир Евгеньевич раскрывает тему развития технологий дополненной и виртуальной реальностей в проектировании наружного освещения.

«Очень скоро вы войдете в новую реальность», именно с таких слов Хелен Папагианнис начинается книга «Дополненная реальность. Все, что вы хотели узнать о технологии будущего». Возможно, это «скоро» уже наступило.

Выводы

Внедрение виртуальной реальности в светотехнику представляет собой потенциально революционное развитие в данной области.

Список литературы

1. *Щепетков Н.И.* Наружное архитектурное освещение и световой дизайн города //Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. Г.В. Бооса 4-е изд. перераб. и доп. М., 2003. С. 687–737.
2. *В.П. Будак, Д.Н. Макаров.* Компьютерная графика с приложением в светодизайн. 1-ое издание. Москва.2022. С. 65-79.
3. *Н.М. Гусев, В.Г. Макаревич.* Световая архитектура. 1973. С. 100-121.
4. *Хелен Папагианнис.* Дополненная реальность. Все, что вы хотели узнать о технологии будущего. 2018. С. 64-116.
5. *В.Е. Карпенко.* Дополненная и виртуальная реальности в световых инсталляциях и ночной городской среде. // Светотехника № 5. 2022. С. 8-10.
6. *Michelangelo Scorpio.* Virtual Reality for Smart Urban Lighting Design:Review, Applications and Opportunities.//Energies. 2020. С. 1-26.

**ПРОЕКТНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДЫ
ФЕСТИВАЛЯ СВЕТА В ГОРОДЕ ВЕЛИКИЙ НОВГОРОД**

Краюшкина А.И., студент

научный руководитель – Заева-Бурдонская Е.А., Рuzова Е.И.

РГХПУ им. С.Г. Строганова, г. Москва

**PRINCIPLES OF THE FORMATION OF THE ENVIRONMENT OF
THE FESTIVAL OF LIGHT IN THE CITY OF VELIKY NOVGOROD**

Krayushkina A.I., student

scientific supervisor – Zaeva-Burdonskaya E.A., Ruzova E.I.

Russian State Stroganov University of Design & Applied Arts, Moscow

Аннотация

В статье даны основные аспекты и особенности светового дизайна в качестве важнейшего фактора в развитии современного города на примере Великого Новгорода. Светодизайн позволяет не только повысить комфорт и коммуникативные функции жизни горожанина благодаря грамотной навигации, акцентного выделения определенных объектов, но и привнести гармонию, максимально используя возможности эстетики света. Историческая традиционная среда русского города нуждается в поддержке и реновации. Модель фестиваля света, формируемая междисциплинарная средствами светового дизайна решает поставленные задачи с точки зрения гуманитарного и эстетического начала развития города и сохранения аутентичности. Проект охватывает среду проведения фестиваля в центральной и периферийной частях города. Проектное исследование включает помимо элементов светодизайна объекты городского дизайна, играющие эмоционально-эстетическую роль. На основе предпроектного анализа были сформулированы проектные предложения, включающие в себя сложные средовые инсталляции и арт-объекты на земле и на воде, способные преобразить фрагменты городской среды исторического города. Объединяющим началом системного объекта проектирования выступило единое сбалансированное образно-стилистическое решение, основанное на образном прототипе колокола, определившего название фестиваля «Кампан». Эмоционально насыщенная городская среда призвана повысить туристическую привлекательность города, способствуя ее устойчивому экономическому развитию.

Abstract

The article is the main aspects and features of lighting design as the most important factor in the development of a modern city on the example of Veliky Novgorod. The lighting design allows not only to increase the comfort and communicative functions of a citizen's life thanks to competent navigation, accentuating certain objects, but also to bring harmony, making maximum use

of the possibilities of the aesthetics of light. The historical traditional environment of the Russian city needs support and renovation. The model of the festival of light, formed by interdisciplinary means of lighting design, solves the tasks set in terms of the humanitarian and aesthetic beginning of the city's development and the preservation of authenticity. The project covers the environment of the festival in the central and peripheral parts of the city: The Kremlin of Veliky Novgorod, historical buildings and cultural monuments, interconnected by walking and cycling routes. The design study includes, in addition to the elements of lighting design, urban design objects that play an emotional and aesthetic role. Based on the pre-project analysis, project proposals were formulated, including complex environmental installations and art objects on land and on water, capable of transforming fragments of the urban environment of a historical city. The unifying principle of the system design object was a single balanced figurative and stylistic solution based on the figurative prototype of the bell, which determined the name of the festival «Kampan». An emotionally saturated urban environment is designed to increase the tourist attractiveness of the city, contributing to its sustainable economic development.

Ключевые слова: Световой дизайн, световая среда города, светотехнические параметры, психофизиология восприятия, социальный подход, фестиваль света

Keywords: *Design, lighting design, city light environment, lighting parameters, psychophysiology of perception, social approach, festival of light*

Введение

Целью проектного исследования является поиск проектных принципов формирования световой фестивальной среды на примере города Великий Новгород.

Задачи проектного исследования:

- проведение предпроектных исследований фестиваля света;
- изучение истории развития проектируемой среды; анализ историко-культурных и социальных аспектов;
- исследовать и систематизировать отечественный и зарубежный опыт организации фестивалей света; выявить систему проектных принципов формирования фестивального маршрута;
- сформулировать образно-содержательную концепцию выбранного маршрута и разработать на ее основе тематический сценарий;
- определить единую образно-стилевую концепцию среды разрабатываемого маршрута;

- разработать типовую модель среды конкретного маршрута на основе оптимальной функциональной структуры и образно-стилевой концепции.

После проведения анализа последних реализованных административных программ по благоустройству можно сделать несколько заключений. «Муниципальная программа развития города «Формирование современной городской среды на территории Великого Новгорода» 2017–2024 гг. включает в себя повышение уровня благоустройства придомовых территорий многоквартирных домов и повышение уровня благоустройства муниципальных территорий общего пользования» [2]. Современное состояние городских общественных территорий нуждается в коренной реновации, в том числе и в области светодизайна.

«Последнее «общественное обсуждение проектов муниципальных программ (подпрограмм), направленных на формирование современной городской среды» состоялось в 2019 году, что свидетельствует об отсутствии новых предложений для создания комфортной городской среды» [2].

17 ноября 2022 года общественная комиссия муниципальных программ, направленная на формирование современной городской среды Великого Новгорода, выделила средства только на проекты парков. Вне сферы интереса остается перспективная область развития световой городской среды, которая предоставит городу возможность развиваться «в ногу со временем», позволит улучшить качество жизни населения города и обеспечит возможностью совершенствоваться в светодизайне. Развитие новой концепции проведения светового фестиваля на земле Великого Новгорода не только создаст перспективу для проектирования брендирования фестиваля, подобного «Кругу света». Проект станет социально значимым и наукоемким, так как имеет связь не только с дизайном, но и с наукой, развитием светотехники, что позволит улучшить жизнь региональным представителям и жителям Великого Новгорода.

Следовательно, до сих пор нет комплексного проектного исследования, обобщающего проектные подходы и принципы решения световой фестивальной среды.

Метод исследования

В данном проектном исследовании применены следующие теоретические и эмпирические методы:

Историко-культурный и социально-культурный анализ, метод социологического анализа: анкетирование и опрос, метод сравнительного анализа, метод фотофиксации, функциональный анализ исследуемой среды, системно-структурный анализ и формально-стилевой анализ.

Результаты

Концепция фестивального маршрута объединяет локации светотехнической выставки в единую общую систему. Создаваемый маршрут - это современная выставка мультимедийных технологий, который способен обеспечить всеми необходимыми условиями для всестороннего и качественного развития.

«Кампан» - название фестиваля света в Великом Новгороде. «Кампаны – название колоколов, встречающееся в Церковном Уставе. Происходит от названия местности в Италии – Кампани, где впервые начали изготавливать колокола (в нач. VII в.). Термин вошел в греческий язык с заимствованием колоколов с Запада в Византию в кон. IX в.» [1].

Проектные принципы проекта включают: принцип территориального брендинга, мобильность оборудования и светодизайн.

Создана схема локаций маршрута: улица Ильина, Набережная Александра Невского, Новгородский кремль, Кремлевский парк, Знаменский собор, Администрация Великого Новгорода, башни и мосты Новгородского кремля и Горбатый мост у Кремля (рис.1).



Рис. 1. Зонирование территории



Рис. 2. Функциональное зонирование

Функциональная структура фестиваля света состоит (рис. 2):

Зоны – мастер-классов, экспо среда, зона променада, зона шоу на воде и зона дополнительных модулей павильонов для проведения открытия фестиваля и т.д.

Результаты и исследовательские материалы могут стать частью образовательных программ и методических материалов в системе высшего и среднего специального образования.

Обсуждение

Исследование показало, что концептуальное решение системы объектов светодизайна в городе не только осветит город, но и насытит эмоционально, вносит в окружающую среду элемент жизнерадостности (рис. 3).



Рис. 3. Графическая подача «Проектные принципы формирования среды фестиваля света в городе Великий Новгород»

Разработанная проектная среда фестиваля будет способствовать формированию брендинга территории в целом, повлияет на развитие его туристического имиджа и проектно-художественных элементов среды.

Выводы

В контексте взаимосвязи фестиваля и города было особенно важно соблюдать гармонию между новыми средовыми объектами, обогащенными светотехническими технологиями, приемами оп-арта и атмосферой реальных городских пространств; органично вписать новые объекты в исторический центр. Выполненные проектные решения, созданные с применением приемов стилизации на основе исторических прототипов, отвечают на поставленную задачу, обогащая и создавая комфортную среду ночного города.

Проект направлен на увеличение туристической привлекательности города, повышения интереса к светодизайну и способствованию его устойчивому экономическому развитию.

Список литературы

1. Комфортная городская среда [Электронный ресурс] / Сайт Администрации Великого Новгорода / Режим доступа: <http://www.adm.nov.ru/page/26224> (дата обращения 10.10.2022 г.)
2. Соколова М.А., Быстрянцева Н.В., Силкина М.А. Опыт проектно-пластического моделирования световой среды. Часть 1 «Пространство и свет. Городская среда» «Светотехника», 2021, №5, С. 14-20с.
3. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга, Г. В. Бооса. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : , 2019. — 892 с.
4. Щепетков Н.И. «Светодизайн города и интерьера» / Н.И. Щепетков. «Светотехника». Москва, 2021. 100 с.

**ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ
ПРИБРЕЖНЫХ ПРОСТРАНСТВ Г. ВЛАДИВОСТОКА
(НА ПРИМЕРЕ БУХТЫ ДИОМИД)**

*Сахаров П.М., студент; Карпенко В.Е., к.архитектуры, профессор,
ДВФУ, г. Владивосток*

***GENERAL APPROACHES TO THE LIGHT ENVIRONMENT
FORMATION OF THE VLADIVOSTOK COASTAL SPACES
(ON THE EXAMPLE OF DIOMID BAY)***

*Sakharov P.M., student; Karpenko V.E., candidate of architecture,
professor, FEFU, Vladivostok*

Аннотация

Работа посвящена исследованию особенностей наружного освещения в условиях прибрежной городской среды Владивостока в районе производственных территорий в бухте Диомид. Анализируются современные способы реконструкции световой среды в связи со сменой портово-производственной функции территории, переустройство ее в пешеходно-общественное пространство и формирование ландшафтного освещения. Рассматриваются современные теории и подходы к проектированию систем освещения прибрежных пространств, которые основываются на качественных и количественных светотехнических показателях, внедрении энергосберегающих и экологических технологий, что приводит к идее локализации, сокращения светового излучения, минимизации и рационализации осветительных устройств, использованию интеллектуальных систем управления, беспроводных и интерактивных технологий в осветительных устройствах. Одновременно повышается важность формирования светового кода, имиджа, идентичности пешеходных пространств, создания и применения светокомпозиционных приемов и эффектов в архитектурных формах и пространствах набережных с учетом основного объекта освещения фигуры и лица человека и различных архитектурных объектов. Даются рекомендации и предложения по созданию гармоничного архитектурно-художественного освещения прибрежного пространства в бухте Диомид.

Abstract

The work is devoted to the study of the features of outdoor lighting in the conditions of Vladivostok coastal urban environment in Diomed Bay industrial territories area. Modern methods of the light environment reconstruction in connection with the change of the port and industrial function of the territory, its conversion into a pedestrian and public space and the formation of landscape lighting are analyzed. Current theories and approaches to the design of lighting systems for coastal spaces are considered, which are based on qualitative and quantitative lighting

indicators, the introduction of energy-saving and environmental technologies, which leads to the idea of localization, reduction of light radiation, minimization and rationalization of lighting devices, the use of intelligent control systems, wireless and interactive technologies in lighting devices. At the same time, the importance of light code forming, image, identity of pedestrian spaces, creating and using light composition techniques and effects in architectural forms and spaces of embankments increases, taking into account the main object of illumination - the figure and face of a person and various architectural objects. Recommendations and proposals are given for the creation of harmonious architectural and artistic lighting of the coastal space in Diomed Bay.

Ключевые слова: Владивосток, бухта Диомид, светодиодные системы, энергоэффективность, световое загрязнение, архитектурное освещение, светокомпозиционные приемы, световой код, имидж среды, идентичность

Keywords: Vladivostok, Diomed Bay, city lighting, outdoor lighting, LED systems, energy efficiency, light pollution, architectural lighting, light code, environment image, identity

Введение

Территория бухты Диомид играла ключевую роль как стратегический пункт для советского и российского флотов. Первоначально освещение обеспечивало производственные процессы. Однако, вопросы эстетики, обеспечения комфорта и безопасности, светопро пространственных и светообъемных параметров освещения набережной и ее объектов на реконструируемой территории бухты не ставились. Существующее освещение не учитывает современные технологии и экологические требования по световому загрязнению, энергоэффективности. Пешеходное, ландшафтное и архитектурно-художественное освещение не были разработаны (рис. 1). Научная задача данного исследования состоит в анализе существующих методов достижения гармоничного освещения прибрежной зоны города и применения современных средств светового дизайна и технологий: раскрываются качественные и количественные показатели оценки световой среды города, которые могут определить перспективные цели освещения с использованием новых светодиодных, устойчивых и экологических тенденций, минимизации и рационализации распределения светового потока и яркости ОУ в ночной городской среде. Концепция идентичности, лайт-кода, имиджа световой среды эмоционально-психологически повышает безопасность и привлекательность набережной вечером для жителей, туристов и работников предприятий.



а



б

Рис. 1. Существующая территория, виды и освещение бухты Диомид:
а – существующая фотография дневной портовой территории (фото П.С. Сахарова);
б – дневная панорама проектируемой территории
(источник 2ГИС, автор Зоя Дорохина)

Метод исследования

1. *Определение теоретических и светотехнических предпосылок освещения прибрежных зон, современные тенденции освещения.* Современные теории и подходы к проектированию систем городского освещения основываются на ключевых критериях оценки световой среды города: качества освещения и количества света [1]. Достижение необходимых светопропортивных характеристик искусственного освещения и параметров светомоделирования формируют необходимую зрительную и психоэмоциональную комфортность среды. Современные тенденции заключаются в применении ОУ с использованием экологических материалов и их контекстное включение в среду. Парадигма устойчивого развития приводит к необходимости снижения яркости и освещенности в городской среде средствами единичного и локального размещения светильников, повышения их эффективности с использованием альтернативных источников энергии и способов генерации световых излучений, снижения светового загрязнения специальными световыми эффектами и устройствами. Концепция «*лайт-кодов*» (*light code*) городов заключается в интерпретации архитектурно-световой среды как системы семиотических знаков в представлении горожан, которую можно распознать и предложить способы ее светового оформления [2]. Некоторые прибрежные пространства крупных городов являются «дикими», заброшенными зелеными территориями, пустырями, однако являются уникальными и ценными местами отдыха в пешеходной доступности. Такие участки могут быть декорированы искусственным светом наряду с утилитарным освещением для создания привлекательной атмосферы. В исследовании акцентируется понятие имиджа территории, городской идентичности как факторов безопасности среды, предлагаются различные сценарии освещения [3]. В другой работе подчеркивается, что свет является художественным и

градостроительным средством проектирования освещения набережных, основанное на художественных образах морской природы. При этом ритм ОУ подчеркивает и акцентирует береговую линию и рельеф, пешеходные направления и велодорожки. Свет является компонентом средовых форм в сочетании с прозрачными, отражающими и рассеивающими материалами, ИС выявляют конструкцию и узлы сопряжения ажурной конструкции прибрежных сооружений и объектов, создаются различные эффекты и иллюзии света [4].

2. *Методы светопанорамного и светопространственного моделирования набережной в бухте Диомид, создание световых доминант и ансамблей.* Ночной панорамный вид обладает сильным художественно-эмоциональным воздействием. Вечером панорама транслирует светопланировочную структуру набережной, ее архитектурные элементы являются световыми проекциями и освещенными объектами. В световой панораме может быть задан световой ритм, силуэт, световые доминанты, акценты, выявляются световые и визуальные планы, фон, вводятся сценарные средства и светорежиссура, моделируются разноплановые цветоцветовые композиции, порядок кинетики с определением временных и пространственных световых интервалов [5]. При выборе архитектурных объектов и сооружений для освещения могут использоваться геотеги Яндекс Карт (рис. 2а) с целью оценки привлекательности городского места и значимости архитектурных сооружений и объектов с подсчетом положительных и отрицательных комментариев. Объектами различения в общественных пространствах являются лицо и фигура человека. В ходе экспериментальной оценки были выявлены оптимальные яркостные соотношения в освещенной и теневой зоне лица $L_{cp}:L_{min}$ от 3:1 до 5:1 при наличии нескольких главных и отраженных потоков света [6].

3. *Градостроительный анализ существующего освещения.* Согласно генеральному плану Владивостока в прибрежной зоне бухты Диомид размещены производственные зоны, зоны инженерной и транспортной инфраструктур, редкие общественно-деловые пространства со смешанной застройкой [7]. Визуальный бассейн набережной замкнут жилыми районами. Согласно [8] средняя освещенность в горизонтальной плоскости площадок предприятий на уровне земли или дорожных покрытий варьируется от 5 до 20 лк в зависимости от типа проезда, освещаемого объекта, интенсивности движения, режима использования. С учетом пешеходного переустройства прибрежной территории показатели горизонтальной освещенности E_z дорожного покрытия могут составлять от 1–20 лк, средняя яркость фасадов L_f от 3–5 кд/м², акцентное освещение зданий с яркостью от 10–15 кд/м², локальное освещение объектов с яркостью от 3–5 кд/м² [1].

Сегодня на прибрежной территории преобладает функциональный теплый свет натриевых ламп ($T_{цв}=1900-2100\text{ K}$, $R_a=21-23$, $\lambda=560-610\text{ нм}$) (рис. 2б).

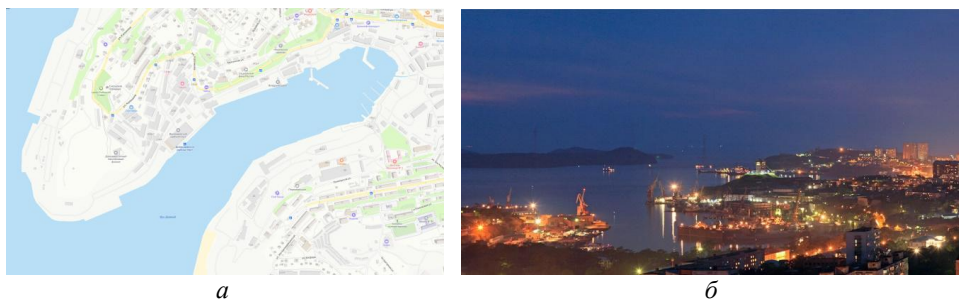


Рис. 2. Существующая территория и вечернее освещение бухты Диомид: *а* – схема и границы территории проектирования световой среды (Яндекс Карты); *б* – существующее освещение территории б. Диомид (источник Яндекс Карты, автор Пётр К.)

Результаты

Рекомендации при формировании световой среды набережной бухты Диомид, освещения архитектурных объектов и сооружений, панорамный принцип выбора архитектурных объектов освещения. В ночном пространстве набережной б. Диомид необходима интеграция системы освещения с интеллектуальными принципами управления для оптимизации энергопотребления, создания кинетики искусственного освещения и сокращения светового загрязнения. В фонарях могут использоваться солнечные батареи, ветрогенераторы, аккумуляторы электрической энергии. Использование направленного и локального света минимизирует световое загрязнение. Специальное сигнальное и функциональное освещение используются в производственных пространствах порта, складов и промышленных зон.

В планировочной структуре набережной находятся портовые, образовательные, офисные здания и многие производственные сооружения при светомоделировании – это горизонтальные световые доминанты и световые акценты. Здание Никольской церкви с колокольней и пятиглавием, стрелы портовых кранов могут играть роль вертикальных световых доминант. Окружающие зеленые насаждения и жилая застройка вокруг бухты могут быть световым фоном. Практическое применение концепции идентичности, лайт-кодов может лежать в области невербальной коммуникации, когда выбранные объекты световых горизонтальных и вертикальных доминант вызывает определенные ассоциации и отзывы, которые могут быть выражены светом. Например, в церкви Николая Чудотворца, по мнению пользователей, привлекает внешняя и интерьерная эстетика, освещение может отражать образ святого с применением контраста теплого желтого

и холодного голубого света при освещении колокольни и куполов. Рядом стоящие производственные здания включают современное портовое производство, освещение может быть по принципу контробраза с современными приемами. Социологический опрос может уточнить символы и ассоциации. Декоративные световые эффекты, световой код, имидж ночной территории, идентичность используются для создания психологически комфортной среды. Ландшафтное освещение подчеркнет вечером группы деревьев и парковые объекты. Световые инсталляции наполнят рекреацию и пляжи необходимыми световыми формами. В связи с изменением функции пространства с промышленной на общественную предлагается ввести СД с нейтрально белым светом для общественно-деловых, рекреационных и развлекательных зон набережной б. Диомид, существующие показатели освещенности и яркости могут быть повышены, введен цветной свет.

Обсуждение

В следующих исследованиях могут быть измерены E_z , $E_{mц}$, подсчитаны контраст и светомоделирующий эффект, равномерность освещения с выявлением закономерностей и предложением принципов освещения набережных с учетом локализации светильников, сокращения световых излучений, использованием энергоэффективных и устойчивых технологий, современных СД в ИС, новых световых форм, художественных эффектов и светокомпозиционных приемов в световой панораме.

Выводы

Количество света и характер его распределения в городском пространстве, цветность, кинетика определяют общее эмоциональное и зрительное воздействие освещения на человека, при этом ОУ используются контекстно с учетом экологических требований, снижается яркость и минимизируется их количество. Освещение объектов определенной городской местности формирует устойчивые ассоциации и может быть выражено при помощи световых кодов, имиджа территории и идентичности. Формирование световой среды набережных может включать морскую символику, ее структура выявляется расположением фонарей в соответствии с планировочной структурой. Освещение во Владивостоке может быть подчинено сезонным колебаниям климата средствами автоматизации. При этом световая панорама набережных включает ряд архитектурных доминант и акцентов, освещенные специальными светокомпозиционными приемами. Пространственные параметры искусственного света направлены на основные объекты освещения человека и архитектурные объекты. Существующее освещение прибрежного пространства б. Диомид может учитывать

комплексное архитектурно-художественное, утилитарное, ландшафтное и декоративное освещение.

Список литературы

1. *Щепетков Н.И.* Светодизайн города и интерьера / Н.И. Щепетков. Москва, 2021. 456 с.
2. *Wasserfurth-Grzybowski N.W.* The Light Code. Light Encodes Reality – Light Codiert Die Wirklichkeit / Gütersloh: Herausgeber VIA Verlag Joachim Ritter e.K., 2018. 184 p.
3. *Канцерова Е.Р.* Исследование приемов освещения объектов водного каркаса на примере фрагмента набережной реки Смоленки: выпускная квалификационная работа ... магистр. Санкт-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2023. 112 с.
4. *Карпенко В.Е., Ковальчук О.В., Максименко Т.А., Расулов К.Р., Самохвалова К.Д., Стрельцова А.И.* Принципы учебного проектирования световой среды набережных (на примере Владивостока) // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации: материалы второй международной научной конференции, 25–27 апреля 2017, Владивосток. Вып. 2 [Электронный ресурс] / Инженерная школа ДВФУ. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2017. [247 с.]. 1 CD. С. 200-203.
5. *Карпенко В.Е.* Световые панорамы прибрежных городов: монография / Инженерная школа ДВФУ. Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т, 2015. 116 с., ил.
6. *Матовников Г.С.* Принципы формирования световой среды пешеходных улиц города (на примере Москвы): автореф. дис. ... канд. архитектуры. Москва: МАРХИ, 2017. 31 с.
7. Владивосток. Официальный сайт администрации. Документы территориального планирования. Положение о территориальном планировании. 3.1.1 Карта функциональных зон. URL: <https://www.vlc.ru/city-environment/gradostroitelstvo-/architecture-vlc/architecturegeneral-plan/> (дата доступа: 24.08.2024).
8. *СП 52.1330.2016.* Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. М., 2016.

**ПРИЁМЫ СВЕТОВОГО ДИЗАЙНА ПРИ ОФОРМЛЕНИИ
ИНТЕРЬЕРНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ**
*Султанов М.И., студент; Алексеев Е.А., старший преподаватель,
НИУ «МЭИ», г. Москва*

**LIGHTING DESIGN TECHNIQUES IN THE DESIGN
OF AN INTERIOR LIGHTING SYSTEM**

*Sultanov M.I., student; Alekseev E.A., senior lecturer,
National Research University MPEI, Moscow*

Аннотация

Данный доклад посвящен исследованию приемов светового дизайна, применяемых при оформлении интерьерной системы освещения. В работе рассматриваются различные светотехнические решения, направленные на создание желаемой атмосферы и визуального восприятия пространства. В ходе выполнения проекта был проанализирован каждый этап работы: от анализа целевой аудитории до создания реалистичной модели, с уже выбранными светотехническими решениями. В работе анализируются такие приемы, как использование локальных источников света, игра с контрастами, зонирование помещения, путем освещения, применение декоративных светильников и акцентного освещения. Благодаря современным программным продуктам мы можем воссоздать модель такого заведения и провести корректные световые расчёты, чтобы грамотно оценить возможности реализации выбранной концепции освещения. Современные технологии смогут помочь в решении управления освещением, контролируя созданное световое пространство, предоставляя максимально комфортное времяпрепровождение для каждого посетителя, подстраиваясь под нужды и желания оных.

Доклад будет представлять интерес для специалистов в области дизайна интерьеров, светового дизайна, а также для владельцев и управляющих различных типов общественных пространств, заинтересованных в создании уникальной и привлекательной световой среды.

Abstract

This report is devoted to the study of lighting design techniques used in the design of an interior lighting system. The paper considers various lighting solutions aimed at creating the desired atmosphere and visual perception of space. During the implementation of the project, every stage of the work was analyzed: from analyzing the target audience to creating a realistic model with already selected lighting solutions. The work analyzes such techniques as the use of local light sources, playing with contrasts, zoning of the room, by lighting, the use of decorative lamps and accent lighting.

Thanks to modern software products, we can recreate the model of such an institution and carry out correct lighting calculations in order to competently assess the possibilities of implementing the chosen lighting concept. Modern technologies will be able to help in the solution of lighting control, controlling the created light space, providing the most comfortable

Ключевые слова: Интерьерное освещение, приёмы освещения, светопланировка, скользящее освещение, прямой свет, скрытое освещение, доминанта, световой потолок

Keywords: *Interior lighting, lighting techniques, light planning, wall grazing, direct light, hidden lighting, dominant, luminous ceiling*

Введение

В современном мире появляется все больше объектов гостеприимства, уделяющих особое внимание световому благоустройству интерьерной среды, привлекающего все больше посетителей, которые ценят эмоциональные впечатления наравне с качеством кухни. Рестораны и кафе стремятся создавать особые пространства, которые формируют у посетителей позитивные впечатления и ассоциации. Правильно подобранное освещение способно создать уютную, расслабляющую атмосферу, подчеркнуть интерьер и особую эстетику заведения. Уровень освещенности, расположение и тип светильников существенно влияют на восприятие пространства, эмоциональное состояние и поведение людей в заведении. От освещения зависит и практическая составляющая - удобство и безопасность нахождения посетителей.

Метод исследования

При разработке светового дизайна для заведений необходимо провести ряд исследований, позволяющих оптимизировать решения и добиться желаемого эффекта. Первый аспект, на который следует обратить внимание это анализ целевой аудитории, иными словами выявление возрастных, гендерных и социальных особенностей целевой группы, изучение их предпочтений, ожиданий и потребностей от данного заведения. Исходя из этого возникает необходимость в анализе уже существующих световых решений, применяемых в заведениях. Анализ реакции посетителей на различные световые сценарии в заведении так же немало важен.

Подходя к вопросу моделирования, необходимо создать 3D-модель интерьера заведения с проработкой систем освещения. Визуализация световых сценариев позволит наглядно познакомить потенциального посетителя со световой средой. Это позволит узнать оценку восприятия пространства целевой аудитории. Моделирование также необходимо для

расчета показателей освещенности, энергоэффективности и других параметров.

Результаты

Важнейшим аспектом, при создании картины светового дизайна является выбор подходящей для заведения концепции. Главным драйвером создания концепции заведения послужила такая страна, как Япония. Япония - не только страна с богатой историей, культурой и традициями, но и место, где настоящее искусство в слаженном сочетании с удовольствием угощения сливаются воедино. Однако наряду с этим, Япония также является одной из самых передовых и технологически развитых стран в мире. Эта уникальная дуальность делает Японию увлекательным местом для путешествий и исследований, позволяя погрузиться в атмосферу старинных традиций и одновременно насладиться современными достижениями человеческого творчества. Основной идеей являлось создание двух диаметрально противоположных по настроению, но объединенных общей тематикой зала. В ходе выполнения работы был разработан дизайн проект освещения (рис. 1) для каждого из помещений.



Рис. 1. Авторский дизайн проект заведения кальянной

Для начала рассмотрим «Неоновый» зал заведения. В качестве основного элемента освещения неонового зала будет выступать гибкий неон. Светодиодный гибкий неон — это светодиодная лента в оболочке, трубке из матового силикона либо ПВХ, свечение которой равномерно

распределяется по всей поверхности, матовая оболочка при этом играет роль рассеивателя, что позволяет скрыть кристалл светодиодов.

Одним из главных приемов освещения данного зала стало «скрытое освещение». Основная особенность заключается в том, что источник света не виден напрямую, а виден только рассеянный свет (рис. 2). Скрытое освещение формирует стиль и добавляет современный вид в интерьер помещения. Осветительные приборы будут расположены в пяти кабинках, находящихся в общем зале, так, скрытое освещение подчеркнет приватность данных пространств. Однако, если сделать всю подсветку исключительно скрытой, то мы не сможем наблюдать за рассеиванием света под влиянием пара от каляна. Таким образом, в создании картины взаимодействия дыма и света, немаловажную роль играет прямое освещение. Наиболее целесообразным решением будет направить пучок света на столы (рис. 3), так посетители сначала смогут сконцентрироваться на меню, а впоследствии лицезреть эффект "светящегося" воздуха, который обволакивает пространство.

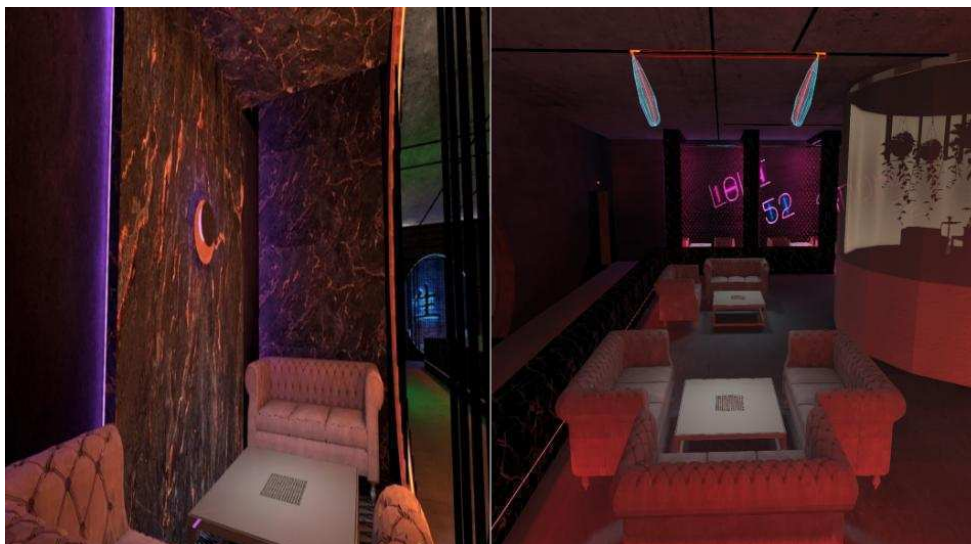


Рис. 2. Скрытое и прямое освещение

Чтобы придать помещению объем, а также акцентировать внимание на текстурах стен, воспользуемся «wall grazing» или скользящим освещением. Светильник размещают практически вплотную к стене и направляют свет под узким углом (рис. 3). При таком освещении все неровности и выпуклости на поверхности дают тени, которые можно сделать резче или смягчить, изменяя угол направления светового потока.



Рис. 3. Примеры реализации приёма Wall Grazing

Доминанта – основной акцент в дизайне, элемент, на который в первую очередь обращается внимание. Это ключевой элемент, который организует и структурирует пространство, создавая визуальный фокус и гармонию в интерьере.

В моём случае, в качестве доминанты выступает, размещенная в центре зала ширма (рис.4). Ширма имеет не только эмоциональный и эстетический смысл, но и практический, так как внутри также есть место для посадки гостей.

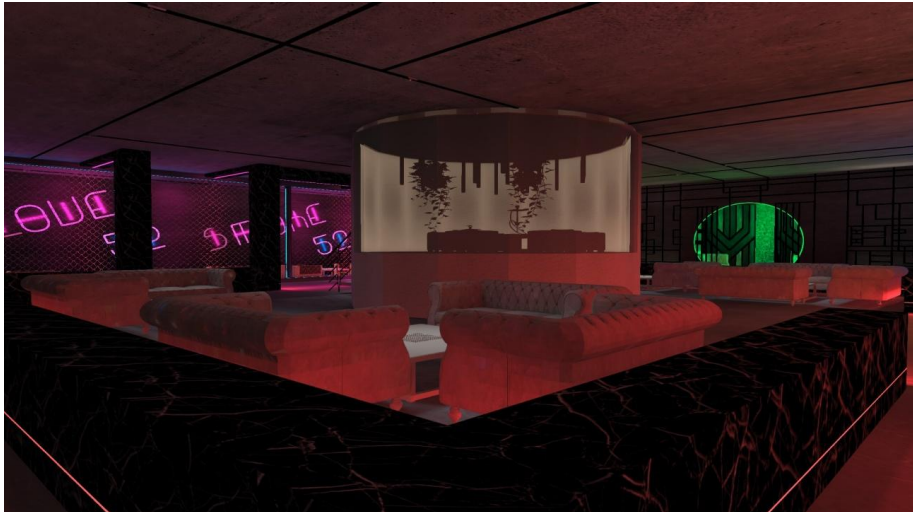


Рис. 4. Доминанта

Переходя к «Традиционному» залу, поговорим о главном элементе, берущим шефство над всеми остальными – о световом потолке. Светящийся натяжной потолок одновременно является потолком и осветительным прибором. В выключенном состоянии он представляет собой белую матовую поверхность, а при включении наполняет помещение равномерным ярким и одновременно мягким светом. Вся поверхность такого потолка является источником света, яркость можно регулировать.

Управление светом можно сделать как с простой клавиши, так и с помощью пульта или смартфона. Можно установить регулировку яркости. Световой потолок может занимать всю площадь помещения или комбинироваться с другими потолками. Однако, в данном помещении наиболее целесообразным решением будет установить световой потолок не на всей поверхности зала, а лишь в центральной его части, где находятся посадочные места (рис.5), это поможет разделить зал на центральную зону и на пути перемещения.

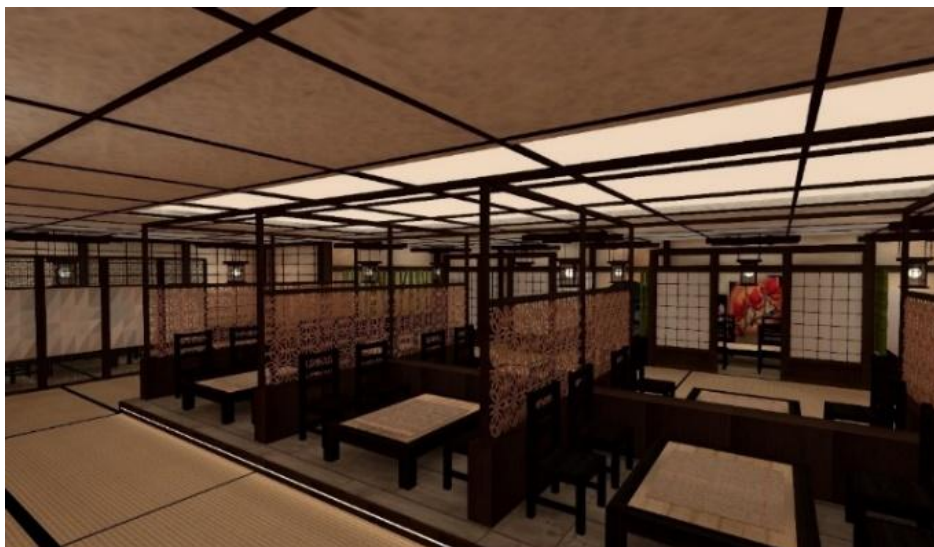


Рис. 5. Световой потолок

Обсуждения

Представленный проект для кальянной демонстрирует инновационный подход к организации освещения в общественном пространстве данной категории. В отличие от многих кальянных, где преобладают либо яркие, контрастные световые решения, либо исключительно теплые приглушенные оттенки, данный проект отличается единением обеих этих крайностей, предоставляющих посетителям выбор, в зависимости от их предпочтений или настроения.

Данный проект демонстрирует творческий подход к световому дизайну общественного пространства, сочетая функциональные требования к освещению кальянной с культурными особенностями японской эстетики. Это позволяет создать уникальную, гармоничную световую среду, отличающуюся от стандартных решений в данной категории.

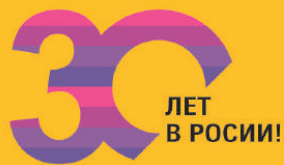
Выводы

В заключении, удалось проанализировать современные тенденции в области светового дизайна для интерьерного пространства. Итоговый проект представляет собой спроектированный дизайн проект заведения кальянной, идеально подходящей для проведения досуга, выбранной целевой аудитории, а именно, ориентация на молодежную аудиторию. Кальянная культура традиционно пользуется популярностью среди молодых людей, ценящих не только расслабляющий ритуал курения кальяна, но и особую атмосферу таких заведений. Поэтому создание световой среды, отвечающей запросам и предпочтениям молодежной аудитории, становится важным фактором успеха.

Список литературы

1. *Косырева О.* Световое зонирование в интерьере, 2018
2. *Cuttle C.* Light for Art's Sake (1st ed.). Routledge, 2007, 304 p.
3. *Крылова И.* Свет в интерьере, 2015
4. *Boisen, M., Nielsen, H.* The influence of lighting color on the perception of interior spaces // *Lighting Research & Technology*, 2009, Vol. 41(2), pp. 159-166.

INTERLIGHT SMART CITY & HOME



Международная выставка освещения, автоматизации зданий, электротехники и систем безопасности

Новое название:

**INTERLIGHT
SMART CITY & HOME**

Новый раздел:

SMART CITY & HOME

- Умный город
- Умный дом
- Электротехника
- Интегрированные системы безопасности
- Автоматизация зданий

Новые даты:

21–24 октября 2025

Новая локация:

**МВЦ «Крокус Экспо»
Москва**

+7 495 649 87 75 • interlight@gefera.ru • interlight-building.ru

На правах рекламы

 GEFERA MEDIA

**ДОКЛАДЫ НА
АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**
PAPERS IN ENGLISH

WHISPER – MOTHER-BABY FRIENDLY BEDROOM LIGHTING SYSTEM DESIGN

*Killian Auyeung, student,
China Academy of Art*

Abstract

This study aims to design a lighting system for maternal and infant bedrooms that protects infants' vision while meeting adult needs. Given the reliance on indoor lighting in modern society, we conducted a market survey and historical background research to propose an innovative solution. Our design simulates natural light changes, adjusting brightness and color temperature over time to minimize blue light and strong light damage to infants' retinas. We considered user convenience through intelligent control technology, remote operation, and timed shutdown features. Survey insights revealed parental concerns about lighting impacts on their babies' eyesight and preferences for easy-to-use lamps. The resulting prototype uses advanced LED technology, aligns with circadian rhythms, and integrates aesthetically pleasing designs compatible with modern home decor.

Keywords: maternal and infant lighting, lighting system design, natural light simulation, LED technology, intelligent control

Introduction

With the progress of society and the development of science and technology, indoor lighting has become an important part of people's daily life. However, improper use of lighting equipment for a long time may have adverse effects on people's visual health, especially for newborns and infants, whose eyes are more sensitive and therefore require special protection measures. Many "eye protection lamps" or "night lights" products on the current market, although providing a certain degree of solution for parents, often cannot fully meet the needs of family night lighting, and also lack design concepts for the special requirements of mothers and babies. Therefore, it is particularly important to develop a mother-and-child friendly bedroom lighting system that can provide a safe and healthy lighting environment for infants and young children, meet the needs of adults, and have good operability and aesthetic design.

Research Method

To understand the current status and needs of maternal and infant bedroom lighting, we designed a series of survey questionnaires to collect the needs and satisfaction of different family members with bedroom lighting. The survey results show that most parents are dissatisfied with the brightness, color temperature and operation mode of existing bedroom lighting to varying degrees, emphasizing the need for adjustable and soft light sources. In addition, functions such as intelligent control, automatic dimming and night

mode are also widely expected. These findings provide valuable data support and direction guidance for our design.

Case Characteristics Analysis

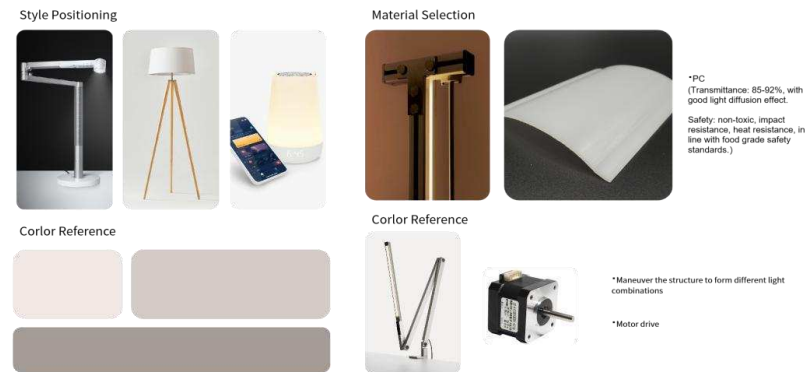


Fig. 1. Case Characteristics Analysis

Results

The innovation of this study is to propose and design a mother-child friendly bedroom lighting system that simulates the changes of natural light sources. The system not only takes into account the impact of light brightness and color temperature on infants' vision, but also takes into account the usage habits and aesthetic requirements of adults. The system uses advanced LED technology, which can automatically adjust the brightness and color temperature according to the circadian rhythm, simulate the changes of natural light, and reduce damage to infants' vision. At the same time, the system includes functions such as intelligent control, remote control switch and timed shutdown, which simplifies the operation process and improves the user experience. In terms of appearance design, we refer to the popular home decoration styles on the market to ensure that the new product is not only comprehensive in function, but also has good market competitiveness.

Discussion

This paper successfully designed and preliminarily implemented the mother-infant friendly bedroom lighting system. By simulating the changes in natural light sources, the system can protect the eyesight of infants and young children while meeting the needs of adults. The survey results show that users are highly interested in and satisfied with the functions and design of the system. Future work will further optimize the intelligent control function of the lighting system, enhance the interactivity and personalized settings of the system, and expand the product line to meet a wider range of market needs. In addition, we also plan to conduct more in-depth user feedback research to

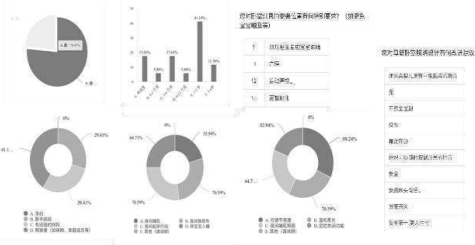
continuously improve product design and ensure that lighting system can better serve the mother and baby groups and improve their quality of life.

Conclusions

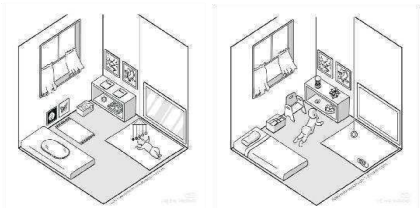
In short, this lighting system corresponds to the ancient Chinese imagination of lights: "The clear rainbow is the lamp." It imitates the sun rising in the east and setting in the west, and imitates the eternal brilliance of the torch when the night falls. It forms an appearance structure similar to the alternating movement of the sun and the moon, and recombines and weaves the originally suspended lights in the room, and designs the light source to be a floor-standing street lamp. This system takes the user object as the subject, investigates the object in the design process, and tries to communicate with the user in the process of investigation. Translate and understand "baby language" with an exploratory design attitude, solve the captured daily needs to the greatest extent possible, reinvent the daily life, from abstract concepts to specific investigations, extract objective laws from data, and redesign humanity. At the same time, in view of the fact that users and consumers do not completely overlap, a truly mother-and-child friendly lighting system design is designed.

Questionnaire interview

Survey Results



Mother and baby room layout survey



User Portrait

0-3 months: room installed floor bed, board book or fabric, low bookshelf, low chair, activity mat, etc.

March - The whole year: A floor bed is installed in the room, low chairs are placed nearby, and many toys and work areas are added to foster children's interests

The survey shows that there are a variety of lamps in the maternal and infant room (floor lamps, wall lamps, desk lamps, etc.), which are mostly placed near the feeding table and the crib to ensure the lighting during the night.

Fig. 2. Questionnaire interview

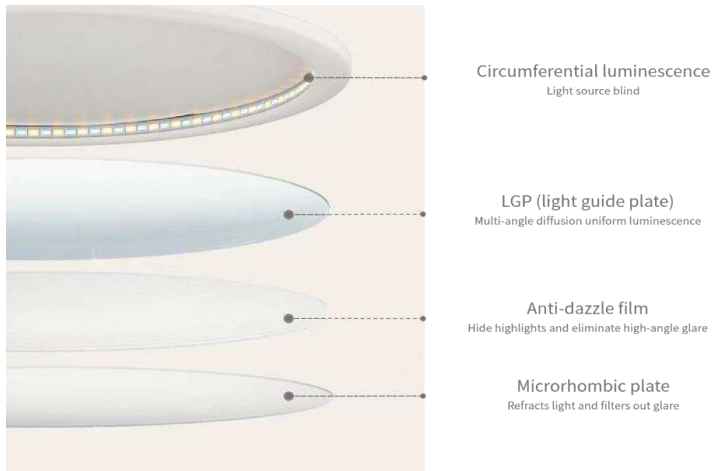


Fig. 3. Detail design

Summary Of User Pain Points

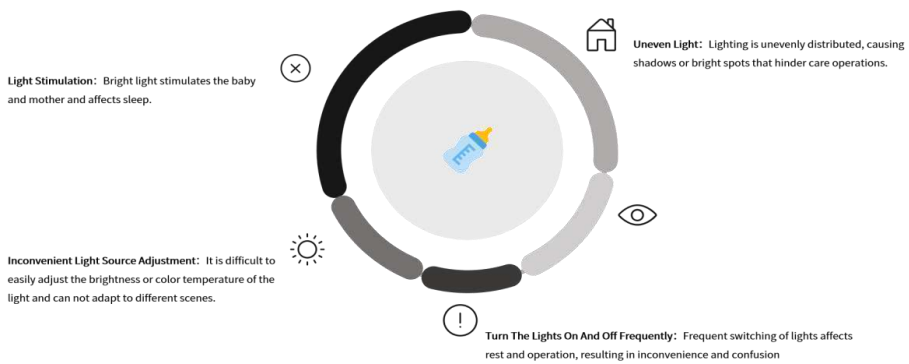


Fig. 4. Summary of user pain points

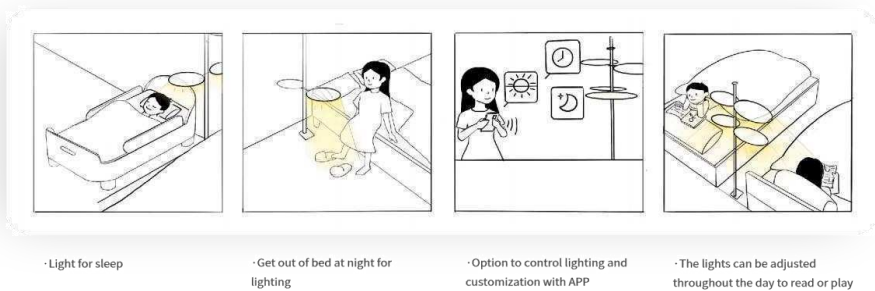


Fig. 5. Usage scenario Introduction



Fig.6. Presentation of achievements1

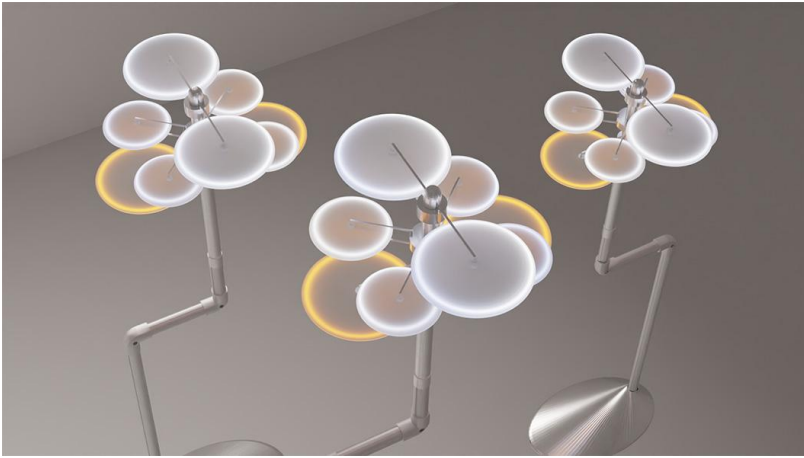


Fig.7. Presentation of achievements2



Fig.8. Presentation of achievements3



Fig.9. Presentation of achievements4



Fig.10. Presentation of achievements5

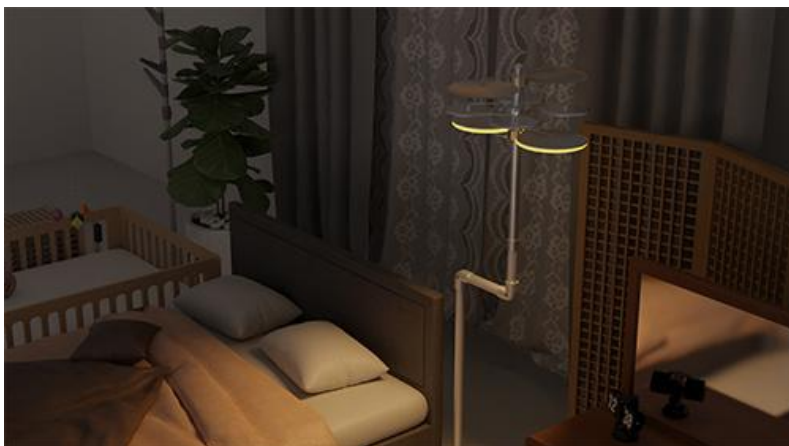


Fig.11. Presentation of achievements6

List of References

1. *Achermann P., Dijk D.-J., Brunner D.P. et al.* A model of human sleep homeostasis based on EEG slow-wave activity: Quantitative comparison of data and simulations. *Brain Res Bull.* 1993;31:97–113. doi: 10.1016/0361-9230(93)90016-5. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
2. *Al-Karawi D., Jubair L.* Bright light therapy for nonseasonal depression: meta-analysis of clinical trials. *J Affect Disord.* 2016;198:64–71. doi: 10.1016/j.jad.2016.03.016. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
3. *Allen A.E., Hazelhoff E.M., Martial F.P. et al.* Exploiting metamerism to regulate the impact of a visual display on alertness and melatonin suppression independent of visual appearance. *Sleep.* 2018 doi: 10.1093/sleep/zsy100. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
4. *Bailes H.J., Lucas R.J.* Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light (lambda_{max} approximately 479 nm) supporting activation of G(q/11) and G(i/o) signalling cascades. *Proc Biol Sci.* 2013;280:20122987. doi: 10.1098/rspb.2012.2987. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
5. *Beauchamp M.T., Lundgren J.D.* A systematic review of bright light therapy for eating disorders. *Prim Care Companion CNS Disord.* 2016 doi: 10.4088/PCC.16r02008. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
6. *Beauchemin K.M., Hays P.* Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. *J Affect Disord.* 1996;40:49–51. doi: 10.1016/0165-0327(96)00040-7. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
7. *Benedetti F., Barbini B., Fulgosi M.C. et al.* Combined total sleep deprivation and light therapy in the treatment of drug-resistant bipolar depression: acute response and long-term remission rates. *J Clin Psychiatry.* 2005;66:1535–1540. doi: 10.4088/JCP.v66n1207. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
8. *Kara D. Greenfield, Oliver Karam, Iqbal O'Meara A.M.* Are Brighter Days Ahead? Light and Sound in the Pediatric Intensive Care Unit. *Pediatrics* July 2020, 146 (1_MeetingAbstract): 161–162. 10.1542/peds.146.1MA2.161
9. *Rao S., Chun Ch., Fan J. et al.* A direct and melanopsin-dependent fetal light response regulates mouse eye development. *Nature.* 2013;494:243–6.
10. *Lee S, Kimble L.* Impaired sleep and well-being in mothers with low-birth-weight infants. *JOGN Nurs.* 2009;38(6):676-85.

VIRTUAL REALITY FOR DESIGNING OUTDOOR LIGHTING

*Ivanova A.E., student; Makarov D.N., Candidate of Technical Sciences,
senior lecturer, National Research University MPEI, Moscow*

Abstract

This work brings out an innovative approach to presenting different lighting options providing interactive surroundings between the user and the design object. Thanks to the application of the developed methodology, it is possible to significantly reduce the time required for the rendering process, as well as importantly optimize the use of resources, without compromising the level of the final product. The visualization method, which was carefully studied during the work opens up wide horizons for consumers to deeply and comprehensively analyze and evaluate the various proposed lighting options. This allows each person to be convinced of the chosen solution and feel like a total participant in the design process.

Moreover, the work examined and proposed strategies and approaches aimed at the dynamic development and promotion of architectural and landscape lighting in the different regions of our country. The research included the development of effective and innovative outdoor lighting options for public spaces, as well as detailed consideration of ways to implement them in practice. These developments can be an important step in improving the quality of life and attractiveness of urban and country areas.

Keywords: outdoor lighting, public space, hotel complex, virtual reality, virtual reality tour, design methods, architectural lighting, landscape lighting.

Introduction

In the continuous development of mankind, each new day brings with it progress that invariably changes our daily lives. Just a couple of years ago, the demonstration of two-dimensional visualization with the concept of lighting was considered a real breakthrough. But time does not stand still, and today, this method can no longer claim to be competitive. Every day, the market offers more and more advanced solutions, and what was amazing a few years ago is now no longer able to meet the increasing demands of the modern industry. One of the key goals of this work is to develop an innovative approach to the presentation of various lighting options.

Lighting plays a key role in the daily life of a modern person, having a significant impact on his activities. However, light can satisfy not only utilitarian needs, but also aesthetic ones. For several decades, large cities of Russia have been actively developing and implementing programs for outdoor lighting of central streets and squares, which allows not only to improve the safety of movement, but also to create a unique urban ensemble.

In smaller cities and regions, this is not paid attention to. However, local residents have a need for quality lighting that would not only contribute to convenience and safety, but also to the beauty of the surrounding space. This work is aimed at developing a quality lighting concept for public space in the province.

Research methods

The design object was chosen to be the hotel complex "Fishing Village", which is located in the village of Shumash in the Ryazan region. This place was created for a modern person living in the urban rhythm, for the possibility of unity with nature (fig. 1).



Fig. 1. Hotel complex "Fisherman's Village"

The amazing hotel complex is very fascinating and inspiring, but with the sunset, all the beauty of the stone building fades, because the lighting there is not thought out at all. According to the founder of the "Fisherman's Village", architectural lighting was not included in the building due to an elementary ignorance of the aesthetic importance of light.

The first stage of design includes the creation of lighting options. For this, a powerful graphic editor Adobe Photoshop will be used.

Together with the owner of the hotel complex, the first options for lighting the complex were developed. The main request was a complete rejection of installing lighting fixtures on the ground. According to the owner, during the day, lighting fixtures do not fit into the created natural landscape and spoil the appearance of the natural complex. Also, the owner of the complex asked to create the effect of "living" windows so that the village was filled with life.

Later, the options were edited and improved. It was decided to simulate three options for lighting the main attraction - the lighthouse, as well as three options for lighting all residential buildings (fig. 2 and fig. 3).

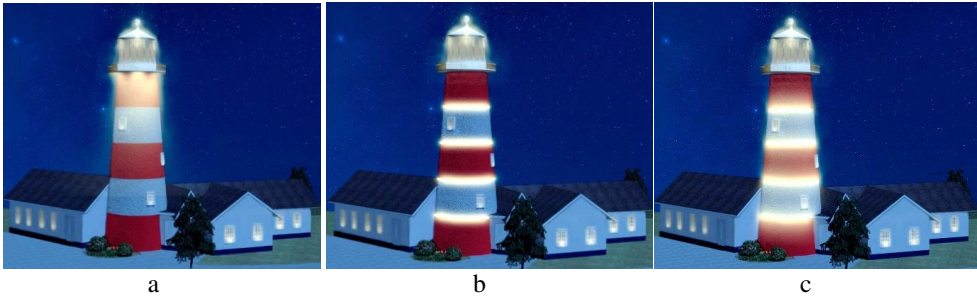


Fig. 2. Lighthouse lighting options (a) First option, (b) Second option, (c) Third option



Fig. 3. Lighting options for houses (a) First option, (b) Second option, (c) Third option



Fig. 4. Model of the hotel complex in daylight

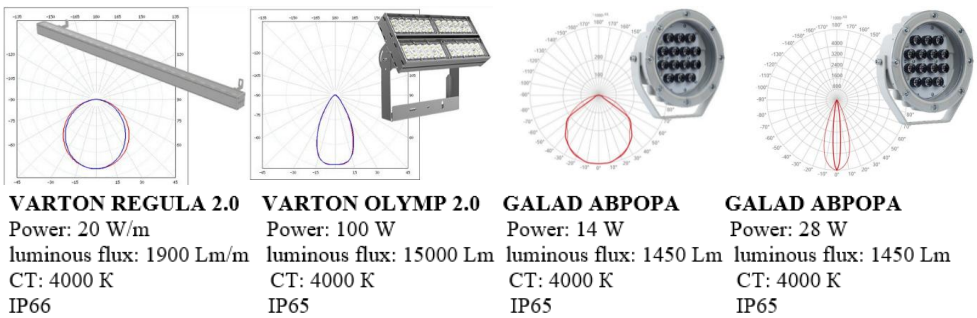


Fig. 5. Lighting equipment

The second stage of design involved modeling the hotel complex. The owner of the hotel complex provided drawings of all buildings in the AutoCAD program. Modeling was performed in the Autodesk 3dsMax software (fig. 4).

Based on the concepts presented earlier, lighting fixtures from leading Russian manufacturers were selected (fig. 5).

To create the “living windows” effect, the lighting fixture was modeled in SolidWorks. The model was then loaded into TracePro optical engineering software to calculate the light intensity curve (fig. 6).



Fig. 6. Simulated lighting device

Also, for the lighting of the lighthouse, a classic sealed LED strip from the VLS series from Wharton was selected. The power of the strip is 14.1 W / m. Correlated color temperature: 4000 K. Protection class IP68.

The third stage of the design involves the calculation of lighting and visualization. The previously presented models of the hotel complex "Fishing Village" in the Autodesk 3dsMax program were transferred to the professional design software DIALux Evo for verification calculation. to reduce the calculation time.

The main focus was on the comfortable stay of guests in the houses. To this end, all three concepts exclude excess light from entering the windows. The calculated brightness on the glass of the window frames does not exceed 0.01 cd/m^2 . The porch of the houses is highlighted with light, the illumination varies from 50 lx to 100 lx. The brightness of the facades smoothly decreases from top to bottom from 8 cd/m^2 to 1 cd/m^2 . At the same time, the average illumination of the landscape in all three concepts is 50 lx.

After analyzing various lighting concepts and obtaining the corresponding values that meet the standards, the lighting was designed in the Autodesk 3dsMax program with the integrated Corona Renderer rendering engine.

For a more visual demonstration of the lighting options, virtual reality tours with the resulting visualizations were collected in the Kuula service.

It is enough to simply point the phone camera at the code, follow the link and enjoy a walk around the designed object (fig. 7).



Fig. 7. Received lighting options for the complex (a) "In a Certain Kingdom", (b) "Forward to the Past", (c) "Space Station"

An online survey was conducted among potential visitors to the hotel complex. A total of 100 people of different age categories, from 20 to 80 years old, were surveyed. They were provided with links to the virtual tours described earlier. After the walk, they had to rate the lighting provided. The ratings were graded from 1 to 5, where: 1 - "don't like", 2 - "rather don't like", 3 - "I find it difficult to answer", 4 - "rather like", 5 - "Like".

The lighting concept "In a Certain Kingdom" won the survey with an average score of 4.7. It was decided to design this concept in the Unity game engine. Unfortunately, the Unity game engine does not yet have a correct setting for lighting equipment and calculation of lighting parameters. There are only 5 types of emitters in the catalog, but you can make absolutely any lighting device from them. The resulting game added the ability to move freely around the complex and the ability to play in virtual reality glasses (fig. 8).



Fig. 8. Graphic code for downloading a game for the IOS operating system

Results

Three lighting concepts were developed for the hotel complex "Fishing Village" taking into account the requirements of the owner of the complex. During the work, popular software for lighting modeling was analyzed. An optimal design path was found that justifies resources and creates an interactive environment between the user and the design object. A virtual reality game, as a way to demonstrate the lighting concept, provides consumers with an opportunity to fully appreciate the proposed lighting concepts. The game is a novelty in the lighting design industry, which is why it has caused a great deal of public interest. The media began to publish the project and reviews in local Internet publics. Accordingly, the customer, in addition to a high-quality lighting project, also receives a working advertising

campaign. The project caused a stir among private entrepreneurs of Ryazan and the Ryazan region, and also emphasized the importance of outdoor lighting as an aesthetic need of people. All these factors together led to the popularization of architectural and landscape lighting in the regions of the province. At the moment, several design organizations are already requesting the design of outdoor lighting using this method.

Discussion

Back at the end of the last century, in the book "Lighting Architecture" (1973), Nikolay Mikhailovich Gusev and Vadim Grigorievich Makarevich identified the problem of the complexity of the techniques and methods of designing outdoor lighting. In the 1990s, the field of architectural design was transformed as a result of the widespread use of computers and CAD programs. This revolution affected the entire design process from start to finish. The topic of lighting design in game engines has not yet been touched upon, but a start has been made. In the article "Augmented and Virtual Reality in Lighting Installations and the Night Urban Environment", published in the magazine "Svetotekhnika" (2022, No. 5), Vladimir Evgenievich Karpenko reveals the topic of the development of augmented and virtual reality technologies in the design of outdoor lighting.. "Very soon you will enter a new reality", these are the words with which Helen Papagiannis begins the book "Augmented Reality. Everything You Wanted to Know About the Technology of the Future". Perhaps this "soon" has already arrived.

Conclusions

In the future, we plan to develop a script that will allow us to calculate lighting characteristics directly in the game engine. According to preliminary calculations, the add-on will reduce the design time using this method without losing quality by about 40%. We plan to create a library of lighting devices with prescribed technical parameters for ease of design. We plan to conduct an experiment comparing human perception of lighting and color rendering of identical scenes in virtual space and in reality. The introduction of virtual reality into lighting technology is a potentially revolutionary development in this field.

List of references

1. *Shchepetkov N.I.* Outdoor architectural lighting and lighting design of the city // Reference book on lighting engineering / Ed. Yu.B. Aizenberg, G.V. Boos 4th ed. revised and enlarged. Moscow: P 687-737.
2. *Budak V.P., Makarov D.N.* Computer graphics with an application to lighting design. 1st edition. Moscow.2022. Pp. 65-79.
3. *Gusev N.M., Makarevich V.G.* Lighting architecture. 1973. P. 100-121.
4. *Helen Papagiannis.* Augmented reality. Everything you wanted to know about the technology of the future. 2018. P. 64-116.

CHOICE OF COLOR DESIGN FOR A MUSICAL FOUNTAIN
Kirillov I.Eu., student; Snetkov V.Yu., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, NRU MPEI, Moscow

Abstract

In existing colour-musical installations, there is often a lack of a systematic relationship between notes or musical tonalities and colours. This paper presents an experiment aimed at determining the extent to which a system linking colours and musical tonalities affects human perception. Two systems of colour tonalities are considered: the first based on A.N. Scriabin's system, and the second based on subjective associations of people. For the creation of the second system of colour tonalities, articles on the emotions evoked by colours and musical tonalities were used. The lighting design of the park area near the fountain was implemented, from the selection of lighting fixtures to the results of calculations and design in the DIALux software. An audit was conducted in Tsaritsyno Park in Moscow, measuring the emission spectra of colours in the musical fountain using a Konica Minolta CL-70F spectrophotometer. Experiments in this study were conducted on an ASUS TUF Gaming A15 laptop's LCD display. The chromaticity coordinates of primary colours and the reference white colour of the display were measured with the aforementioned spectrophotometer. The colour design of the fountain model in DIALux, based on the synaesthesia of colour and music, was evaluated using the category method. The results of the study show a significant impact of systematic colour transitions on viewer perception and confirm the effectiveness of the synaesthesia-based approach. Overall, A.N. Scriabin's concept received the highest score (3.63 points), while the association-based concept ranked second (3.05 points). Fragments without systematic connection received significantly lower scores (2.77 and 1.85 points, respectively).

Keywords: color musical installations, color design, emotional perception, color tonalities, Alexander Scriabin

Introduction

Over the past two decades, color musical installations have become widely used in public spaces such as parks, theaters, and concert halls. These light shows combine elements of color and music, creating spectacular and emotionally rich performances that attract a wide audience. However, a lack of harmony between color effects and musical accompaniment is often observed. Transitions from one color to another often occur chaotically and do not correspond to musical chords and notes, which can reduce the overall impression of the performance.

The aim of this work is to study the impact of a system linking colors and musical notes on the perception of light and music installations. The study

includes the development and application of two fountain lighting concepts: one based on Alexander Scriabin's color tonalities system [1], and the other on associative links between colors and emotions evoked by music. The second system is based on research on emotions triggered by music and colours [2]. An audit of the musical fountain in one of the parks is also planned, as well as the creation of a festive light-color environment using lighting installations in the park area around the fountain, and experiments to evaluate the correspondence between music and color with the participation of observers. We believe that harmony between music and color can significantly enhance the emotional perception of viewers, confirming the relevance and significance of this work.

Research Method

The work implemented the lighting of the park area near the fountain, starting from the selection of lighting fixtures to the results of calculations and design in the DIALux program, corresponding to standards. An audit was conducted in Tsaritsyno Park in Moscow, measuring the emission spectra of colors in the musical fountain using a Konica Minolta CL-70F spectrophotometer. The main focus was on subjective research conducted on an ASUS TUF Gaming A15 laptop LCD display with a 15.6-inch screen and a resolution of 1920x1080 pixels. The chromaticity coordinates of the primary colors and the reference white color of the display were measured with the aforementioned spectrophotometer. Experiments were conducted with the participation of 10 observers (7 men and 3 women) aged 21 to 25, who evaluated the correspondence of color transitions and musical accompaniment. For the convenience and objectivity of the experiment, Alexander Scriabin's work "Prometheus: The Poem of Fire" was used, which contains a score for a color organ [3]. Observers evaluated the presented video fragments on a categorical (five-point) scale [4], considering personal impressions of the combination of colors and music. There were a total of four video fragments with different color transition concepts. Two concepts used color tonality systems, and two had no systematic connection between music and color. The first concept was based on Alexander Scriabin's color tonality system, where each musical tone corresponds to a specific color. The second concept was developed by us and built on associative links between colors and emotions evoked by music. To create the second concept, musical tonalities were correlated with emotions and colours with emotions separately. Then, tonalities were matched with colours based on similar associations. Correspondence tables of notes and colors were compiled for each concept (Table 1 and Table 2).

Table 1. System of Color Tonalities by A. N. Scriabin

Tonalities	Color	
C major (C*)	Red	
C minor (c)	Gray	
D major (D)	Yellow	
D minor (d)	Pink	
E major (E)	Pale blue	
E minor (e)	Blue	
F major (F)	Pink	
F minor (f)	Swamp green	
G major (G)	Orange	
G minor (g)	Gray	
A major (A)	Swamp green	
A minor (a)	Red	
B major (B)	Gray	
B minor (b)	Dark violet	

* The tonalities are indicated in parentheses. Uppercase letters denote major scales, while lowercase letters denote minor scales.

Table 2. System of Tonality-Color Associations

Tonalities	Color	
C major (C)	Yellow	
C minor (c)	Violet	
D major (D)	Orange	
D minor (d)	Dark blue	
E major (E)	Light green	
E minor (e)	Blue	
F major (F)	Green	
F minor (f)	Brown	
G major (G)	Blue	
G minor (g)	Dark violet	
A major (A)	Pink	
A minor (a)	Gray	
B major (B)	Violet	
B minor (b)	Black	

Research Results

Observers evaluated 4 video fragments (link to URL: https://drive.google.com/drive/folders/1Et3Q3MvH5t1trv-QF_Rhs-psXIKdLRn5?usp=sharing) with the same musical accompaniment but different color transitions. Each observer was presented with three series of four video

fragments in random order. As a result of the experiments, the following data were obtained:

Table 3. Arithmetic Mean Value of Observers' Ratings. First Series

	Associations	Scriabin	Without System 1	Without System 2
Total	2,95	3,55	3,00	2,05
Musicians	2,67	3,00	4,33	2,67
Non-musicians	3,07	3,79	2,43	1,79

Table 4. Arithmetic Mean Value of Observers' Ratings. Second Series

	Associations	Scriabin	Without System 1	Without System 2
Total	3,10	3,50	2,55	1,85
Musicians	2,67	2,83	3,67	2,17
Non-musicians	3,29	3,79	2,07	1,71

Table 5. Arithmetic Mean Value of Observers' Ratings. Third Series

	Associations	Scriabin	Without System 1	Without System 2
Total	3,10	3,85	2,75	1,65
Musicians	2,83	3,33	3,67	1,83
Non-musicians	3,21	4,07	2,36	1,57

Table 6. Final Results of the Arithmetic Mean and the Root Mean Square Values (indicated in parentheses)

	Associations	Scriabin	Without System 1	Without System 2
Total	3,050 (0,116)	3,633 (0,103)	2,767 (0,255)	1,850 (0,132)
Musicians	2,722 (0,194)	3,056 (0,264)	3,889 (0,567)	2,222(0,289)
Non-musicians	3,190 (0,149)	3,881 (0,095)	2,286 (0,304)	1,690 (0,152)

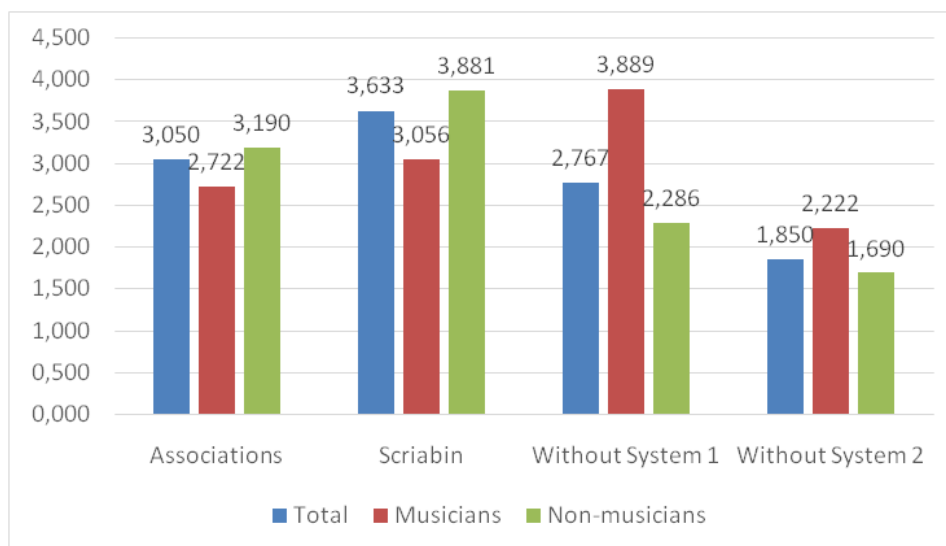


Fig.1. Histogram of the Observers' Ratings Over All Series

In the overall aggregate, Scriabin's concept received the highest score (3.63 points), the association-based concept took second place (3.05 points). Fragments without systematic connection received significantly lower scores (2.767 and 1.85 points), especially from non-musicians. Although the scores of musicians (3 people) slightly reduced the gap, the difference between the best ("Scriabin") and the worst results (i.e., "unsystematic 1 and 2") remained significant — 0.9 and 1.8 points, respectively. We explain the second, not the first place of Scriabin's color music in experiments for musicians by the fact that they did not have experience with such perception of the composer in traditional training, which was unusual for them. Therefore, in our subjective research, they gradually changed their scores, and the difference between the first and second places among musicians significantly decreased: in the first series, it was 1.3; in the second — 0.8, and in the third — only 0.3 points.

Discussion

We consider this study as a starting point for subsequent broader studies. There is nothing to compare our results with, as all known studies are exclusively humanitarian in nature. Therefore, for further research, we propose the following. First, it is advisable to conduct additional experiments using other musical fragments, works, and color tonality systems. This will help identify the universality of the results and determine which systems of color-musical associations are most effective. Second, we propose using more complex and diverse visual effects. In this study, simple color transitions were used, and adding dynamic changes, such as more significant changes in brightness or movement of water jets, can improve the audience's impression.

Conclusions

The study showed that systematic color transitions linked to musical notes significantly enhance viewer perception. The concept based on A. Scriabin's color tonality system received the highest scores — 3.63 points (0.9 and 1.8 points more than fragments of unsystematic use of color), confirming the effectiveness of the synesthesia-based approach. Further research in this area could lead to the creation of more captivating and emotionally rich color-musical installations, capable of attracting a wide audience and significantly improving cultural and entertainment events.

List of references

1. "Как Александр Скрябин открыл миру светомузыку". URL: <https://www.audiomania.ru/content/art-6285.html> (accessed 17.12.2023).
2. *Hunter, P. G., Schellenberg, E. G., & Schimmack, U.* Feelings and perceptions of happiness and sadness induced by music: Similarities, differences, and mixed emotions. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(1), 47-56. 2010.
3. Score of the musical poem "Prometheus". URL: <https://primanota.net/skryabin-aleksandr/prometei-poema-ognya.htm> (accessed 14.04.2024).
4. ГОСТ 26320–84 Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений.
5. *Tikhonova A.E., Ivanova O.G.* Peculiarities of colour perception and the impact of colour on the mental state of a person. *NEW IDEAS OF THE NEW CENTURY: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE Faculty of Architecture and Design of the Pacific State University*, Vol. 3, 2020.

SELECTION OF LIGHTING INSTALLATIONS AND COLOUR DESIGN OF THE SANATORIUM PREMISES

Kukhnovets E.K., student;

*scientific supervisor – Snetkov V.Yu., Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, NRU MPEI, Moscow*

Abstract

This paper presents selected lighting installations of sanatorium premises, irradiators designed for disinfection of object surfaces and indoor air, explains the choice of colour design options. Also described are the measuring installation, research and measurement techniques, and experimental data on people's colour preference. With the help of the measuring device it was possible to obtain irradiation values from real irradiators of GALAD trade mark, and then to calculate the ranges of permissible time of irradiation with bactericidal radiation and justify the options of their application in practice. Thus, it is recommended to use LED irradiator GALAD Viva in the mode of air disinfection at a distance of 2 m or more from people in rooms for special purposes (treatment rooms, examination rooms, doctors' offices, etc.) with a reasonable exposure time. It is recommended to use GALAD BBO in small rooms at distances from 0.30 m to 0.60 m, with maximum exposure time at these distances of 0.3 hours and 1.2 hours respectively. For larger rooms, it is recommended to use at distances from 0.85 m (irradiation time not exceeding 2 hours). According to the results of subjective measurements, the preferred colour variants of perception of colour design of the space of the treatment room were determined. These were white and light grey or light blue and grey.

Keywords: irradiators, lighting installations, colour design, colour, visual perception, irradiance, exposure time

Introduction

A sanatorium is a place where people of different ages can come for treatment and prevention of diseases or for recreation. The choice of the right lighting is very important, because the speed of recovery, maintenance of stable condition, improvement of people's well-being depends on it. [1], [2]. In addition, due to the recent pandemic, attention should be paid to sanitising the space to avoid the spread of infectious diseases [1]. Light and biological safety is an important aspect, as our main goal is to create the most favourable environment for people [5]. In addition, it is necessary to combine quality lighting with the correct organisation of space. Like light, colour also influences the human condition on a mental level [3], [4]. In this work, the objective is to find and select real irradiators for air disinfection and to measure the irradiance for different distances to people. It is necessary to calculate the permissible time of exposure to ultraviolet radiation and propose

an approach to the correct placement of irradiators. Another task is to create colour design options based on our proposed lighting concept for the sanatorium premises and, using a subjective study, determine the preferred colour solution for the space. The approach aimed at a comprehensive solution to health problems seems to us to be important and very relevant.

Research Method

Two studies were carried out to address the issues of interest. The first involved a full range of work on the calculation and design of lighting installations, from the justified selection of luminaires by distribution curve (of luminous intensity) (hereinafter - DC), power, design and cost for different rooms of the sanatorium using DIALux evo 12.0 software to the analysis of the results complying with Russian lighting norms. We obtained visualisations of lighting installations with different variants of colour design of sanatorium premises with subsequent determination of the preferred variant based on the method of subjective assessment [7]. As an example, for this report, a treatment room was selected from all investigated rooms. The observers were 5 men and 5 women aged between 33 and 48 years. The laptop used for the study was a Huawei MateBook D16, on which a test with 3 visualisations of colour variants of the room design was created. There were 9 presentations of each visualisation in the experiment. GALAD Econom luminaires were chosen for lighting the treatment room (Table 1).

Table 1.

Characteristics of the luminaire

Title	Type	Dimensions, mm	DC	F _v , lm	P, W	CCT, K	cos φ	IP	Ra (CRI)	t, h	Quantity
GALAD Econom	Ceiling	1195x295x77	Д	3600	35	4000	0.95	54	>80	10 ⁵	4

*t – service life, h; DC – distribution curve (of luminous intensity); F_v – luminous flux, lm; P – power, W; CCT – correlated colour temperature, K; cos φ – capacity factor; IP – Ingress Protection Rating; Ra (CRI) – Color Rendering Index.

Three options for the colour design of the treatment room were then considered. The first one was made from the information found in articles [3], [4]. The authors recommend light and white colours - Table 2, because they have a sedative effect on the nervous system. The second variant (Table 3) used a combination of green and pink colours and their shades, which was chosen with the help of I. Itten's colour wheel. It is believed that green and pink evoke a sense of peace and trust in people, they get rid of negative emotions. The third variant (Table 4) was chosen by us according to the recommended palette and colour combinations from the album of typical colour design projects. These are blue and white colours, which are believed to have a favourable effect on people's psyche, reduce stress and blood pressure [6].

The second study – measurement of irradiance E_e and determination of permissible time of UV irradiation. GALAD Viva LED and GALAD BBO123-60 bactericidal irradiators served as objects for the study (see Fig. 2). A combined device TKA-PKM (06) - illuminance meter +UV-Radiometer (A+V) was used to measure energy illuminances. Measurements were carried out in the showroom of ILS ‘BL GROUP’ at different distances along the irradiator axis.



Fig. 2. GALAD Viva LED (a) and GALAD BBO123-60 (b)

Results

From the calculations in DIALux programme it was revealed that the obtained illuminance values: 503 lux - for the first variant of the central office, 520 lux - for the second, 511 lux - for the third - do not exceed 20% of the standardised value of 500 lux. The value of specific power does not exceed the maximum permissible value ($9.46 < 14 \text{ W}$), the same can be said about the UGR discomfort index ($17.1 < 19$). When processing the results obtained during the subjective study, the arithmetic mean of the evaluations and the mean square deviation were calculated - Table 5. From the results obtained, it follows that the preferred options, in the opinion of the majority of observers, are the colour solutions in Fig. 1a and Fig. 1c (2% difference).

Table 5.

Arithmetic mean of observer and standard deviation estimates					
Arithmetic mean			Standard deviation		
colour design1	colour design2	colour design3	colour design1	colour design2	colour design3
4.55	4.15	4.45	0.371	0.734	0.588

For the second study, the formula from IEC 62471 [5] was used to calculate the time allowable for people t_{\max} irradiation to UV radiation. The irradiation limit for effective energy exposure within an 8-hour period is 30 J/m^2 [5]. And the maximum permissible exposure time t_{\max} :

$$t_{\max} = \frac{30}{E_s}, \quad (1)$$

Where E_s - effective UV irradiance, W/m^2 .

Table 6 shows the measured irradiance for each of the illuminators as a function of distance and the calculated allowable exposure time.

Table 6.

Measurement results				
Distance, m	E_s , mW/m ²	t_{max} , min	E_s , mW/m ²	t_{max} , h
	GALAD Viva LED		GALAD BBO123-60	
0.30	285	2	29	0.3
0.42	178	3	15	0.6
0.60	108	5	7	1.2
0.85	62	8	4	2.1
1.20	31	16	2	4.2
1.70	14	36	1	8.3
2.40	14	36	1	8.3
3.00	14	36	1	8.3

From the obtained results it follows that it is recommended to use GALAD BBO at distances from 0.30 (and at this distance people can stay no more than 0.3 hours) to 0.60 m (no more than 1.2 hours) in small rooms, e.g. corridors, bathrooms, etc. From 0.85 m (not more than 2 hours) and above - for large rooms and when people stay in them according to Table 6. GALAD Viva LED is recommended to be used at a distance from 2 m and above in special purpose rooms (examination rooms, treatment rooms, etc.) or to use this illuminator in other rooms, but with exposure schedule according to Table 6.

Discussion

Based on the results, in full compliance with IEC 62471, the permissible time of human exposure to ultraviolet radiation was determined for GALAD irradiators for air disinfection. Based on all the requirements of Standard 26320, the preferred colour design options were determined. Thus, the reliability of calculations and measurements is ensured by strict compliance with norms and standards.

Conclusions

Lighting installations for the sanatorium premises have been selected and justified. The lighting of the treatment room was designed, where all calculated values meet the norms. Irradiance from real irradiation devices were measured, irradiation time ranges were calculated and application options for them were justified. For example, it is recommended to use the GALAD BBO irradiator at a distance from 0.30 (and at this distance a person can stay no more than 0.3 hours) to 0.60 m (no more than 1.2 hours) in small rooms, such as corridors, and 0.85 m (no more than 2 hours) in large rooms. Based on subjective measurements, the best colour schemes for the perception of the treatment room space were identified. These were light grey and white (Fig. 1 a) or grey and light blue (Fig. 1 b).

List of references

1. Reference book on lighting engineering / Edited by B.Y. Eisenberg. 3rd edition revised and supplemented. M.: Znak. 2006. 972 p.
2. *Kunduraji, A. D.* Age-friendly lighting for people living in residential care // *Lighting Engineering*. 2022. № 4. p. 12-19.
3. *Glytina A. A., Baklykskaya L.E.* Integrated approach to the adaptation of living environment for the elderly visually impaired person // *New ideas of the new century: proceedings of the international scientific conference FAD TOGU*. 2017. p. 27-34.
4. *Reznichenko S. I.* Psychotherapeutic living environment for the elderly: psychological foundations of design // *Clinical and Special Psychology*. 2017. № 4. p. 1-18.
5. IEC 62471:2006 "Photobiological safety of lamps and lamp systems".
6. Album of standard projects of colour design of premises. Smolensk: ANO "Colour Laboratory", 2019. 24 p.
7. State Standard 26320-84. Studio and out of studio television equipment. Methods of subjective assessment of colour television pictures quality.

RESEARCH ON THE PREVENTION AND CONTROL OF URBAN NIGHTTIME LIGHT POLLUTION FROM THE DARK SKY PROTECTION: A CASE STUDY OF SHENZHEN XICHONG INTERNATIONAL DARK SKY COMMUNITY

*Yushan Liu, engineer; Zheng Liang, professorate senior engineer
China Academy of Urban Planning and Design Shenzhen, China*

Abstract

Taking the lighting renovation design during the Shenzhen Xichong International Dark Sky Community declaration process an example, this thesis discusses the influence of electrical lighting on the dark sky. It also combines on-site lighting environment research and the luminance of the night sky measurement of typical space, based on the needs of dark sky and night ecological protection, it proposes *The Regulations on the Management of Lighting Environment in Xichong International Dark Sky Community*. Through the Phase I lighting renovation project of municipal roads and advertising signboard lighting exemplification, the night sky brightness of Xichong is reduced, and the sky glow is controlled. To ensure the safety of nighttime use, the light pollution caused by electrical lighting construction is avoided. Finally, Xichong became the first International Dark Sky Community in China and the second in Asia, providing references dealing with the relationship between lighting construction and dark sky and ecology in other dark sky communities.

Keywords: electrical lighting, light pollution, dark sky protection, international dark sky community, lighting renovation

Introduction

Urban lighting construction has improved the safety of night travel and enriched the public's nightlife but has unintended consequences. The improper or excessive use of electrical lighting produces light pollution, affecting human circadian rhythms and ecosystems

There are growing concerns about the impact of electrical lighting on human health (Miao Cao et al., 2023), ecosystems (Justine Mushobozi Katabaro et al., 2022), and astronomical observation (Antonia M et al., 2023). Xichong International Dark Sky Community, obtained the certification of DarkSky International in April 2023, located at the southeast end of Shenzhen, with superior natural ecological background conditions. Xichong community contains eight villages, Xichong Beach, and Shenzhen Observatory, which is located at the top of the cliffs on the east side of Xichong Beach, with better quality starry sky under clear sky conditions, professional stargazing equipment, and science popularization explanation services, and has carried out several night starry sky themed activities, which is the best place for stargazing and activity planning (Fig. 1). However, in recent years, light

pollution from urban lighting construction in the Xichong community has caused interference with nighttime astronomical observation. Therefore, there is a need to find urban lighting planning and design strategies that can satisfy the public's recreational needs at night while controlling the interference of electrical lighting in the urban night environment, especially mitigating the impact on nighttime astronomical observation.



Fig. 1. Area plan of Xichong Dark Sky Community

Method

A field survey was conducted on the lighting environment of typical Xichong International Dark Sky Community spaces. It includes municipal road lighting and advertisement lighting. The municipal road survey consists of the number of luminaires, installation spacing, height, light type and shielding, average illuminance, illuminance uniformity, and correlated color temperature, which are measured and recorded using an illuminance meter. The investigation of advertisement lighting includes the number, installation location, and lighting method, average luminance is measured and recorded using a luminance meter. Based on the results of the field research, problems in the lighting environment of the Xichong community were identified, which led to the summary of the design strategy for urban light pollution prevention and control based on dark sky protection.

According to the national standard and the lighting requirements of the international dark sky community from DarkSky International, The

Regulations on the Management of the Lighting Environment in the Xichong International Dark Sky Community and the lighting renovation program for different urban spaces within the Xichong International Dark Night Community is proposed. Phase I lighting renovation is carried out using municipal road lighting and advertisement lighting in Xinwu village as a pilot project.

To understand the impact of electrical lighting on the quality of the night sky within the Xichong International Dark Sky Community, several typical spaces were selected to measure and record the luminance of the night sky per mouth using a sky quality meter (SQM) and aerial photograph, detecting the change of night sky quality and sky glow before and after lighting renovation.

Result

In April 2022, a survey was conducted on the current lighting environment of certain spaces in the Xichong community, in order to assess the extent of light pollution. The light pollution we talk about in this article are the “sum total of all adverse effects of electrical light” (CIE 2022), including direct upward light (Wesołowski, 2019), upward reflected light (Gaston et al., 2015), direct glare (Coaton, Marsden, 1997) and spill light (Van Bommel, 2015).

For municipal road, 25W, 80W, and 90W nonshielded lights are arranged on one side, with more direct upward light, upward reflected light and spill light, which affects the quality of the night sky. The average illuminance of the road ranges from 5.2lx-16.4lx, and the average correlated color temperature ranges from 3900K-4600K. There is no change in low illuminance patterns during late-night mode or special sky phenomena, which cannot meet the requirements of energy saving and stargazing. Among them, the Xinhai road for lamp testing and acceptance has an average illumination of 11.5lx and a correlated color temperature of 4009K. The main lighting source used in advertisement lighting is LED, which is mostly set up on the roof of the building and the upper end of the building façade, with high luminance and no shading facilities, with more direct upward light, direct glare and spill light, causing a great impact on the night environment.

According to the requirements of the national standard and the dark sky community declaration requirements, for all kinds of lighting, the initial luminous flux of the light source exceeds 1000lm must be fully shielded. The correlated color temperature of lighting must not exceed 3000K. The average illuminance of the road surface is 10lx, and the maximum illuminance is 30lx. Take Xinhai Road as an example, the municipal road was renovated with full shielded street lamps with a power of 75W. For advertisement lighting, Luminance levels for operation between sunset and sunrise shall not exceed 100 nits (100 candelas per square meter) as measured under conditions of a full white display. The luminous/illuminated surface area of an individual sign

shall not exceed 200 square feet (18.6 m²). Taking the advertisement lighting in Xinwu Village as an example, the brightness was controlled to be less than 100 cd/m² through dimming under laboratory conditions. When applied to the actual scene, a better lighting effect was achieved.

The measurement of lighting data was carried out after the renovation. The average illuminance of Xinhai Road is 12.3lx, the correlated color temperature is 2736K (Table 1). The illuminance and correlated color temperature matching degrees are good, effectively control the overflow light above the horizontal plane. The advertisement lighting rectification demonstration is measured (Table 2), and the average luminance of the advertisement lighting pilot is 53 cd/m², effectively controlling the sky glow.

Table 1. Comparison of renovation and upgrading of lighting fixtures on Xinhai Road

Location	View	Before Replacement	After Replacement
Xinhai Road	Car View (h1.5m)		
	CCT	4009K	2736K
	Illuminance	11.5lx	12.3lx

Table 2. Comparison of advertisement lighting improvement in Xinwu Village

Location	Before Replacement	After Replacement
Freedom Surf		
CCT	5732K	2745K
Luminance	359 cd/m ²	53cd/m ²

Discussion

The sky glow condition of Xinwu village observed through aerial photographs has been significantly improved. Comparing the sky quality index measured at Shenzhen Observatory and Xinwu village shows a gradual growth trend after the first phase of the lighting renovation(Figure 3), which

proves that the sky glow has been controlled compared with the situation before the renovation and meets the requirement of declaring an international dark sky community(Fig. 2).



Fig. 2. Comparison of lighting improvement in Xinwu village

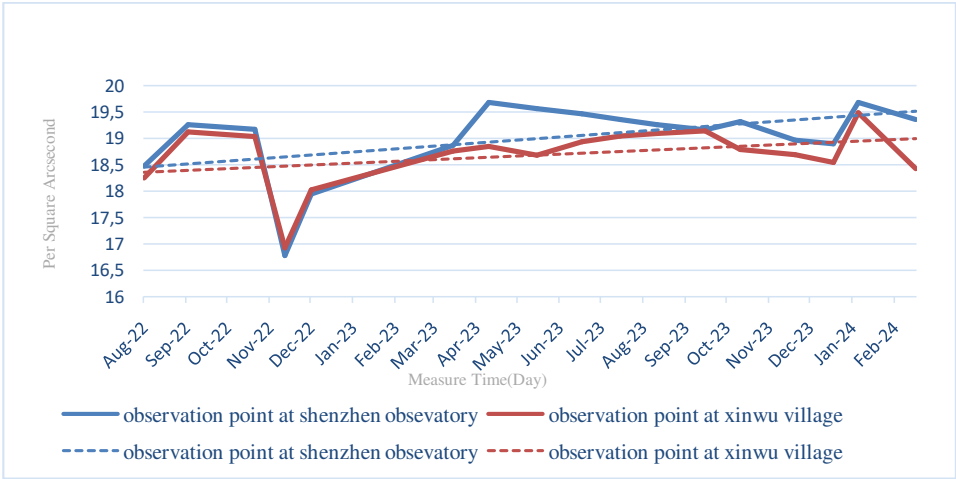


Fig. 3. Comparison of typical spatial sky quality index

Conclusion

The lighting renovation of Xichong International Dark Sky Community pays attention to the comfort of human settlements and the protection of dark sky. In the end, with unique creativity and exploration in the dark sky protection lighting design, Xichong community was certified by the DarkSky International as an International Dark Sky Community in April 2023. This certification is the first in China and the second in Asia. The lighting renovation work in Xichong International Dark sky community will be completed within five years, and the night sky quality will be continuously tracked and tested. After the first phase of lighting renovation, the firefly population in Xichong International Dark Sky Community showed an increasing trend, and further studies are needed to determine the impact of light pollution on the surrounding ecosystem.

Funding

This work was supported by National Key R&D Program of China (2023YFC3805303) and National Natural Science Foundation of China(52378089).

List of reference

1. *Antonia M. Varela Perez*. The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy [J]. *Science*, 2023,380: 1136-1140. DOI: 10.1126/science.adg02
2. CIE. e-ILV entry 17-29-177 light pollution. 2022 [cited 2022 10 May]; Available from: <https://cie.co.at/eilvterm/17-29-177>.
3. *Gaston, et al*. Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23 (1) (2015), pp. 14-23
4. *J.R. Coaton, A.M. Marsden*. *Lamps and lighting* (4th ed.), Arnold and Contributors (1997)
5. *Justine Mushobozi Katabaro, Yonghong Yan, Tao Hu, Quan Yu, and Xiang Cheng*. A review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures [J]. *Public Health*, doi: 10.3389/fpubh.2022.969945
6. *Miao Cao, Ting Xu, Daqiang Yin. Stevens et al*. Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2023, 127: 589-602.
7. *Qingli Hao, Lixiong Wang, Gang Liu, Zhuofei Ren, Yuting Wu*. Exploring the construction of urban artificial light ecology: a systematic review and the future prospects of light pollution. *Environmental Science and Pollution Research* (2023) 30:101963–101988
8. *Van Bomme V*. *Road lighting; fundamentals, technology and application* Springer (2015)
9. *Wesołowski*. Impact of light pollution on the visibility of astronomical objects in medium-sized cities in Central Europe on the example of the city of Rzeszów, Poland *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 40 (3) (2019)

DIURNAL CHANGES OF THE PUPILLARY RESPONSE TO FLICKERING LIGHT STIMULI IN HUMAN

Ryuma Semba, Yu Maruyama, Hajime Nakajima, Masanori Kuroha, Shota Matsukawa, Genta Tsuchihashi, Motoharu Takao
Department of Human and Information Science, Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa, 259-1292, Japan

Abstract

The circadian rhythm is related to cells called intrinsic photosensitive retinal ganglion cells (ipRGC) which are strongly influenced by light. Pupillary responses during light stimulation are attributed to photoreceptors, while pupillary responses after light exposure are attributed to ipRGCs. This study explores the characteristics of pupillary response to flickering light stimuli, indicating diurnal changes in chromatic sensitivity of ipRGCs by measuring the pupillary light reflex after exposure to flickering light. The results showed that, overall, no relationship was found between the time of day and wavelength. There was no significant difference between the three time zones of 10:00, 13:00, and 16:00. However, there were significant differences in wavelength comparisons during and after light exposure. The results indicate that pupillary light response to the middle wavelength (517 nm) was larger than short and long wavelength (454 nm and 627 nm), therefore indicating that green cone photoreceptors are involved in flickering light, while light response after short wavelength light exposure took longest time to recover.

Keywords: fricker light, intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs), Photoreceptor

Introduction

Most living organisms, including humans, possess an internal biological rhythm with an approximate 24-hour cycle, known as the circadian rhythm. The circadian rhythm is generated in the retino-hypothalamic tract (RHT), which serves as the body's internal clock. The retino-hypothalamic tract manages numerous physiological functions such as temperature regulation, sleep, and stress [1].

Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) are newly discovered ganglion cells, in addition to rod and cone cells. ipRGCs contain melanopsin, which is essential for converting light into electrical signals.

Research in ipRGCs has increased dramatically since it was identified in the mammalian retina in 2002 [2]. Some studies have revealed that ipRGCs are involved in non-visual effects such as circadian rhythm synchronization and pupillary light reflex [3], and their impact on visual functions has also been reported [4].

Pupils also follow a circadian rhythm and are known to be significantly influenced by light exposure [1]. The pupil constricts when exposed to light and gradually returns to its original size after the light stimulus ends.

Initial and sustained pupillary constriction during light exposure is primarily transmitted by photoreceptors, while the contribution from ipRGCs is minimal. However, the post-stimulus pupillary response has been shown to be controlled by ipRGCs [3].

This study will explore the characteristics of pupillary response to flickering light stimuli and will indicate diurnal changes in chromatic sensitivity of ipRGCs by measuring the pupillary light reflex after exposure to flickering light.

Methods

Ten college students (8 males and 2 females; 21.3yrs old; 21-23 yrs old) participated in this experiment. Informed consent was obtained from all the participants after the purpose and procedures were explained. They were identified as intermediate chronotypes based on their responses to the Morningness Eveningness Questionnaire[5]. To measure proper reactions in pupil, participants were asked to avoid caffeine and alcohol consumption and to get ample sleep the day before the experiment. In our experiment, a light source with three different wavelengths was set to a 1 Hz flicker light (Araizu Corporate Co., Ltd., Tokyo, Japan). The conditions for the light stimuli used in the experiment are shown in Figure 1. Table 1 shows the characteristics of the short, middle and long wavelength LED lights used in this experiment (λ_{\max} : 454 nm, 517 nm, and 627 nm, respectively).

The experiment was conducted in a shielded room with a dimmed illumination room (16.1 lx). The order of wavelength exposure during the experiment was randomized to eliminate any bias. A diffuser was placed between the LEDs and the participants. The distance between the diffuser and the participants was 56 cm. A chin rest was used to control the distance between his eyes and the display.

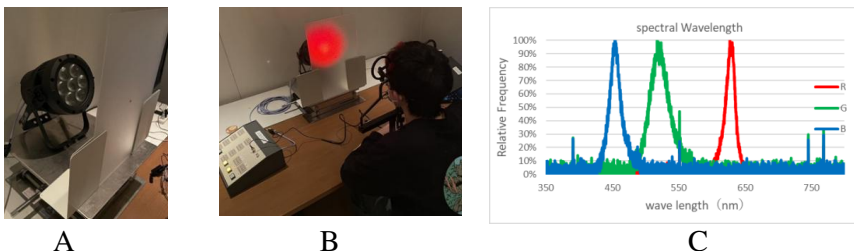


Fig.1. Panel A and B show the experiment. Panel C shows Spectral Wavelengths of three LEDs.

Table1. Spectral properties of LEDs

	$\lambda_{\max}(\text{nm})$	Half-band width(nm)
Long wavelength	627	15
Middle wavelength	517	33
Short wavelength	454	19

Procedure

The participants were adapted in the dimmed room for 15 minutes after wearing the pupillometers (Takei Scientific Instruments Co., Ltd., Niigata, Japan). First, the pupil area was measured for 30 seconds using a 1 Hz flickering light. Afterward, the flickering light was turned off. To eliminate the influence of the previous lights, each participant waited until pupil to return to its original size (it took about 3 to 4 minutes) before changing the wavelength. The three wavelengths of light were measured continuously. The process of exposure was repeated at three different time in a day which were 10:00, 13:00, and 16:00 respectively. All the procedures were approved by the ethical committee of Tokai University.

Results

The measured pupil data (Figure 2) were analyzed in two separate analyses, one during illumination and the other after illumination. During illumination, the pupil data were subjected to FFT (Fast Fourier Transform) using Origin Pro2024 (Light Stone Co., Ltd., Tokyo, Japan) to measure the height of the first period of the output data (Figure 3). Subsequently, the pupil data were analyzed using SPSS (ANOVA IBM SPSS Statistics 23) to conduct a two-way analysis of variance.

A significant difference was found in the wavelengths comparison ($F(2,18)=13.997$, $p<0.05$). Figure 4, Panel A shows that the middle wavelength stimulus is significantly more responsive during flicker light exposure. More detailed comparison of the wavelengths result during light exposure show significant differences in short wavelength-middle wavelength ($p<0.01$) and short wavelength - long wavelength ($p<0.05$), as shown in Figure 4, Panel A.

However, no significant difference by time was found during light exposure ($F(2,18)=0.726$, ns). No significant difference was found in the interaction between wavelength and time ($F(4,36)=0.502$, ns).

The data of the after-illumination (12-second period) were divided into two 6-second segments and then outputted. Afterwards, the area of The Post-Illumination-Pupil-Response (PIPR) was analyzed for two-way ANOVA in SPSS. During the first 6 seconds of redilation after illumination, a significant difference was found among the wavelengths even after illumination ($F(2,18) = 10.517$, $p < 0.05$). More detailed comparisons by wavelengths each resulted as follows (Figure 4.B). However, no significant time-related differences were observed ($F(2,18) = 0.312$, ns). In addition, no significant

difference was found in the interaction between wavelength and time ($F(4,36)=0.351$, ns).

During the second 6 seconds to 12 seconds after illumination, a comparison by wavelengths ($F(2,18)=15.333$, $p<0.05$) showed significant differences. The more detailed comparison of each of the wavelengths showed the following (Figure 4, Panel C). Figure 4, Panel B and C show that the PIPRs are significantly more responsive to short wavelength. However, no significant difference was found in the interaction between and time ($F(4,36)=0.680$, ns). There was no significant difference in time ($F(2,18)=0.303$, ns).

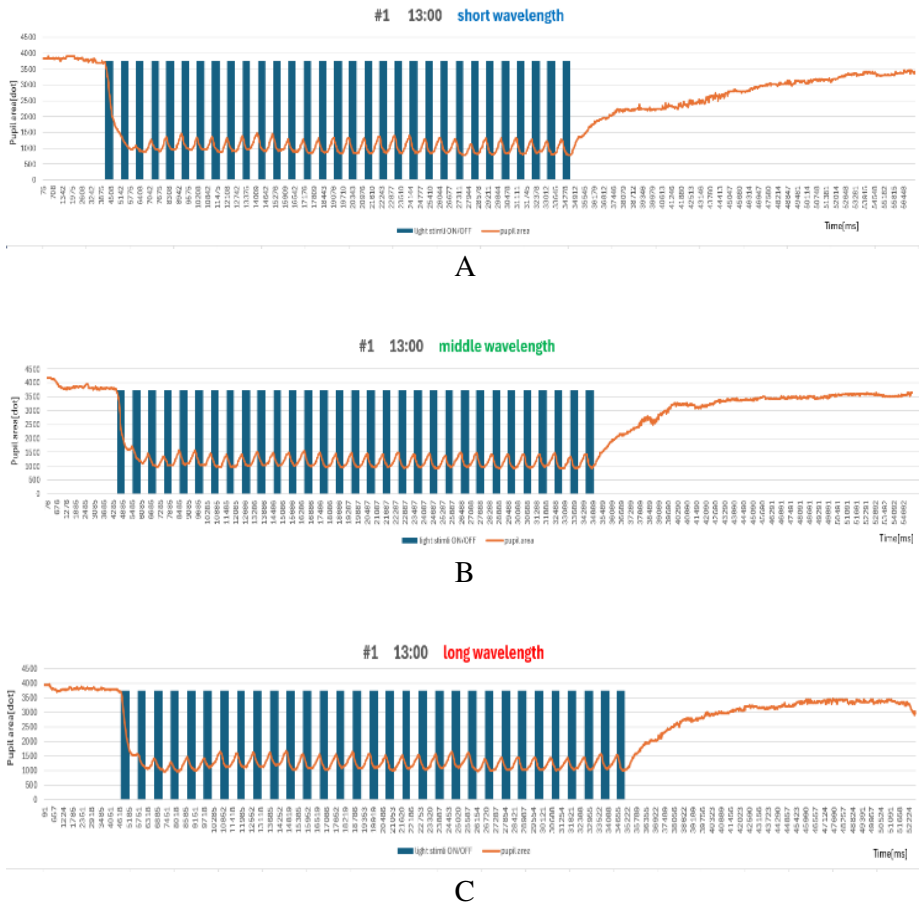


Fig. 2. Panels A, B, and C represent participant's pupil data

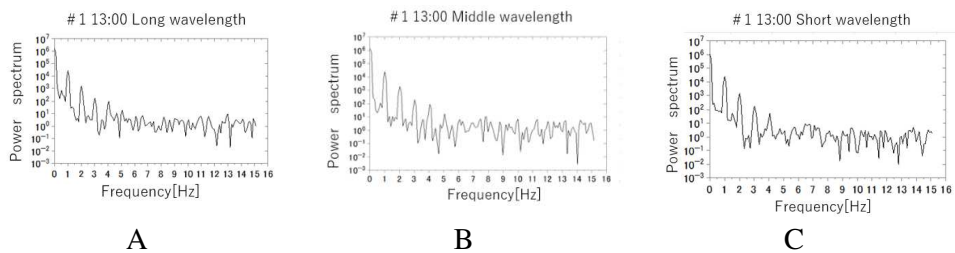


Fig. 3. FFT of pupil response during illumination

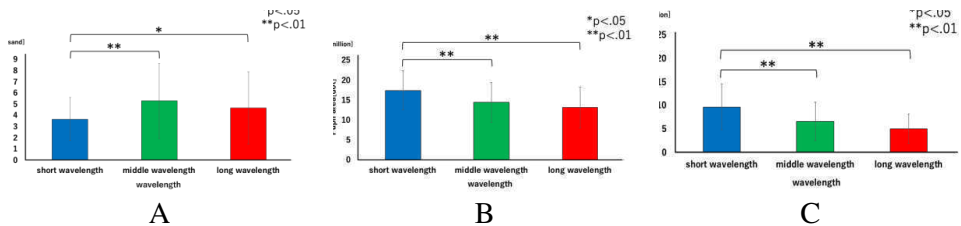


Fig. 4. Power of main component (1Hz)

Panel A shows a comparison of power values within wavelengths during flicker light exposure. Panel B and Panel C show a comparison of pupil area among three wavelengths from immediately after the end of flickering light exposure to 6 seconds later and a comparison of pupil area within wavelengths from 6 to 12 seconds after the end of flickering light exposure, respectively. The three wavelengths are represented on the horizontal axis, with Panel A showing power values on the vertical axis, and Panels B and C representing the pupil area after the end of light exposure.

Discussion

Our results showed that there was no significant difference between the three time zones of 10:00, 13:00, and 16:00, both during and after light illumination. Our results suggest that light stimulation of the pupil does not affect the circadian rhythm during the day.

One possible reason for this is that our experiment involved university students as subjects, making it difficult to conduct the experiments early in the morning or late at night. Since the sun was up during all the experimental time points, there were no significant differences in conditions across these periods. Therefore, if we were able to expand the experimental measurement times to cover the entire day, we might observe differences related to time.

It has already been reported that photoreceptors and ipRGCs are involved in visual and non-visual functions, respectively [6]. Moreover, Pupillary responses during light stimulation have been attributed to photoreceptors, and pupillary responses after light exposure have been attributed to ipRGCs [3]. In our experiment, photoreceptors were found to be

dominant at middle wavelengths, while ipRGCs were found to be dominant at short wavelengths. Therefore, middle wavelength is essential for visual functions, while short wavelength is important for non-visual functions.

It is concluded that the middle wavelength stimulus, which showed the largest response during the light exposure, was highly responsive to photoreceptors, while the short wavelength stimulus, which showed the largest response after light exposure, was most responsive to the ipRGC. However, this study has two limitations. We investigated only intermediate chronotypes. It is necessary to collect data from morning and evening chronotypes to investigate the effects of chronotypes on diurnal photosensitivity. Moreover, we need record pupillary photoresponses from children and elderly people, because age-related changes are reported in circadian rhythm [7].

Acknowledgements

I extend my sincere gratitude to the individuals whose support and collaboration have been fundamental to the completion of this research endeavor. Special thanks to Yuki Kobayashi for valuable comments.

List of reference

1. Kozaki, T., & Okuzono, M. (2021). Attempting to evaluate non-visual effect of the light by steady-state electroretinogram. *The Japanese Journal of Ergonomics*, 57 (Supplement).
2. Berson, DM, Dunn, FA, Takao, M. (2002) Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science* 295(5557) 1073–1077
3. Gamlin, PD, McDougal, DH, Pokorny, J, Smith, VC, Yau, KW, Dacey, DM. (2007) Human and macaque pupil responses driven by melanopsin-containing retinal ganglion cells. *Vision Research*. 47(7): 946–54.
4. Adhikari, P., Feigl, B., & Zele, A. J. (2019). The flicker pupil light response (FPLR). *Translational Vision Science & Technology*, 8(5), 29.
5. Kaneyoshi, I., Akio, M, et al.(1986).The results of investigation by the Japanese version of Morningness-Eveningness Questionnaire, 57(2): pp. 87-91.
6. Tetso, K., & Lee Soomin.(2021). Recent studies on the contribution intrinsically photosensitive retinal ganglion cells to visual functions. *The Japanese Journal of Ergonomics*, 26(4) pp.87– 95
7. Akpınar, Ş., Tek, NA.(2023). Age-Related Changes in Circadian Rhythm and Association with Nutrition. *Current nutrition reports*, 12(3) pp. 376–382.

CONSIDERATION OF CIE MESOPIC PHOTOMETRY SYSTEM IN ROAD LIGHTING DESIGN

Sych N.V., student;

*Snetkov V.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
NRU MPEI, Moscow*

Abstract

An algorithm implemented in the MATLAB system has been developed for calculating the S/P factor as a ratio of luminance at night and day conditions and selected on the basis of literature analysis the actual CIE MES2 model for calculation of twilight or mesopic values. We propose a complex approach to determine these mesopic values, based on the measured emission spectra of the luminaire in absolute units, using the program developed by us in MATLAB and using the program of calculation and design of street lighting Light-in-night road (LIN). The last one “loads” all the known characteristics of the lighting installation and asphalt surface, calculates illuminance and luminance in this or that place of the roadway in the direction of the vehicle driver. As a result, it was possible to determine the twilight luminance for LED street lighting fixtures with different correlated color temperature T_{cp} . For example, for $T_{cp}=5000$ K, a mesopic luminance 9% higher than the daytime luminance was obtained and for $T_{cp}=4000$ K the mesopic luminance increase with respect to the daytime luminance was 7%. For the variant with $T_{cp}=5000$ K we have established a possible reduction in the number of luminaires by 5 pieces per kilometer of the roadbed and energy savings of 9% while meeting the standards and maintaining the necessary uniformity of illumination of the road class B2.

Keywords: mesopic vision, spectral luminous efficiency, outdoor lighting

Introduction

Twilight (mesopic) vision is something that people encounter every day. However, mesopic conditions are practically not taken into account in the calculation and design of lighting installations. Experiments [1] show that lamps with low S/P factor ratio (ratio of luminance for night and day conditions), such as HPSV, demonstrate lower efficiency in the mesopic zone than light-emitting diodes (LEDs) with higher S/P ratio. In [2], the danger of foveal vision degradation was investigated if one reduces, for example, the normalized luminance. When recognizing targets with foveal vision at a luminance contrast range of 0.3 to 0.13 and at a background luminance of 0.5 cd/m², the percent of target recognition does not change and remains 100%. What is important for us is that for a significant number of applications the transition to mesopic values can be considered reasonable according to these results, since the foveal vision does not deteriorate. In the twilight vision

system, it is necessary to measure the light luminance and the so-called "night" luminance. There is no Russian device with state registration and receiver corrected for $V'(\lambda)$ to measure the latter. There is another approach based on measuring the spectral radiance to then calculate the "night" luminance using formula (5). The use of more effective, including due to the assumed excess of mesopic luminance over photopic luminance, LED lighting in twilight can improve, for example, the work of transport drivers and safety of people, as well as reduce economic costs for the organization of street lighting without deterioration of the visual system. Therefore, the objectives of this work are to develop a program that allows to calculate all the necessary mesopic values; and to evaluate on a real practical example the possible quantitative effect of taking into account the peculiarities of mesopic vision. Scientific Russian domestic and international publications in this area are few, mesopic values in the calculation and design of lighting installations are practically not taken into account, so the topic of the report seems quite relevant. We expect that the results of such mandatory accounting will lead to significant technical and economic effects. This will be the main scientific value of our work.

Research methods

On the basis of the literature analysis [3-5], we have chosen an algorithm (formulas 1-7) for the calculation of mesopic quantities in accordance with the MES2 CIE system, which affects a wide range of applications and was obtained on the basis of a large number of experiments:

$$M(m) \cdot V_{mes}(\lambda) = m \cdot V(\lambda) + (1 - m) \cdot V'(\lambda), \quad (1)$$

where $M(m)$ - normalizing function such that $V_{mes}(\lambda)$ becomes equal to 1,

$V_{mes}(\lambda), V(\lambda), V'(\lambda)$ – mesopic luminous efficiency function, photopic luminous efficiency function and scotopic luminous efficiency function.

m - parameter, which takes values from 0 to 1.

$$L_{mes} = \frac{683}{V_{mes}(\lambda_0)} \int L_{e,\lambda}(\lambda) V_{mes}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

where $L_{e,\lambda}$ spectral radiance,

wavelength $\lambda_0 = 555$ nm.

Analytically, L_{mes} and m_n are described in MES2 as follows:

$$L_{mes,n} = \frac{m_{(n-1)} \cdot L_p + (1 - m_{(n-1)}) \cdot L_s V'(\lambda_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot V'(\lambda_0)}, \quad (3)$$

$$m_n = a + b \cdot \lg L_{mes,n}, \quad (4)$$

where n - iteration step, $V'(\lambda_0) = \frac{683}{1699}$

In the MES2 system, the values of m_2 , m_1 , a , b are calculated as follows:
 at $L_{mes} \geq 5.0 \text{ cd/m}^2$ $m_2= 1$; at $L_{mes} \leq 0.005 \text{ cd/m}^2$ $m_2= 0$; $a=0.767$;
 $b=0.334$;
 at $L_{mes} \geq 3.0 \text{ cd/m}^2$ $m_1= 1$; at $L_{mes} \leq 0.01 \text{ cd/m}^2$ $m_1= 0$; $a=0.807$;
 $b=0.404$.

We suggest using the Light-in-night road lighting calculation and design program to determine day and night luminance. In it you can "load" the selected luminaire, all known characteristics of the lighting installation and asphalt surface, and thus get illuminance and luminance in this or that place of the roadway in the direction of the driver. To calculate the luminance under mesopic vision conditions, the S/P factor of the light source used must be known.

The S/P ratio is characteristic of a lamp's spectral composition and is defined according to the CIE methodology as:

$$\frac{S}{P} = \frac{L_s}{L_p}, \quad (5)$$

where L_p , L_s - photopic and scotopic luminance, respectively:

$$L_p = 683 \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (6)$$

$$L_s = 1699 \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}(\lambda) V'(\lambda) d\lambda, \quad (7)$$

The program was developed in MATLAB environment. It uses equations (1) through (7). For $V(\lambda)$ and $V'(\lambda)$ were taken tabular given at 1 nm from [7]. Sequence of program operation:

1. Import of the measured or modeled spectrum of the LED from a .txt file.
2. Using formulas (6), (7), calculates the photopic and scotopic luminance L_p and L_s ;
3. Using formula (5), finds the S/P factor;
4. Inputs the calculated photopic luminance L_{plin} obtained from LIN.
5. Calculates the night luminance L_{slin} by multiplying the calculated photopic luminance L_{plin} by the S/P factor;
6. Using formulas (3) and (4) and the corresponding coefficients a and b , calculates the mesopic luminance L_{mes} ;
7. Substituting in (4)→(1) and the found m_2 constructs mesopic luminous efficiency function $V_{mes}(\lambda)$.

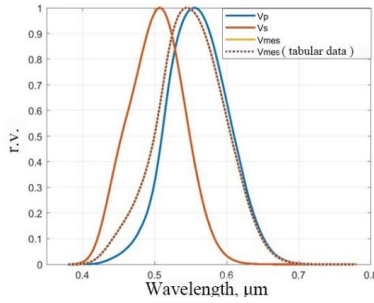


Fig. 1. Photopic, scotopic, mesopic luminous efficiency function lighting conditions

We have calculated the mesopic luminance using the developed program. Spectra, selected on the basis of comparison of different lighting devices (with the help of experts in calculation and design), street lighting luminaires GALAD Galeon XS LED 40 W and GALAD Urban M 140 W were measured in absolute units of $\frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot \mu m}$ (Fig. 2 and 3) in the accredited and licensed laboratory of the Test Center for Lighting Products of VNISI named after S.I. Vavilov

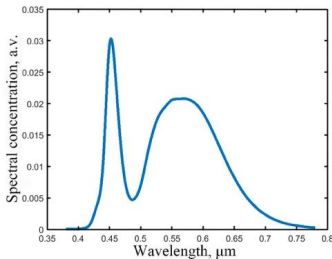


Fig. 2. Spectrum of luminaire GALAD Urban M 140 W

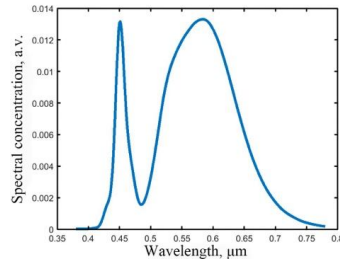


Fig. 3. Spectrum of luminaire GALAD Galeon XS LED 40W

Results

A program in MATLAB environment has been developed, which allows to calculate the most important characteristics for mesopic illumination according to all CIE recommendations. Using the possibilities of changing the emission spectra of LED luminaires we managed to obtain mesopic luminance, relative spectral efficiency at mesopic vision and other parameters at correlated color temperature T_{cp} from 3000 K to 7000 K (Table 1). The highest excess of mesopic luminance over daytime luminance amounted to 11.6% and was obtained for LED radiation with $T_{cp} = 7000$ K.

Table 1.

Results of calculation by the program at change of radiation spectrum

Tc, K	S/P	Lmes, cd/m ²	Mesopic luminance gain in relation to daytime luminance, %
7000	2.0666	0.68	11.6
6500	2.0130	0.68	11.1
6000	1.9545	0.67	10.6
5500	1.8875	0.67	9.9
5000	1.8114	0.67	9.3
4500	1.7247	0.66	8.4
4000	1.6209	0.65	7.4
3500	1.4945	0.64	6.0
3000	1.3297	0.63	4.2

Several programs for calculation and design of lighting installations of street lighting were studied. As a result, the domestic program Light-in-Night with the available database of indicatrix of luminance factor for real asphalt typical for Russia was selected. According to our proposed method of finding mesopic characteristics were made calculation and design of lighting installations of street lighting in the program Light-in-Night. For the design of lighting with a luminaire GALAD Urban M 140 W was selected road category A, class object A3. (6 lane roadway in the city center). For lighting design with luminaire GALAD Galeon XS LED 40 W - road category B, object class B2. (4 lane residential lane in the city center). Lighting standards were taken from SP 52.13330 2016 with the updated edition of 2022, and at the end of the calculation was successfully met. Thanks to the emission spectra in absolute units for the selected luminaires obtained in the testing center of lighting products, it was possible, as it seems to us quite accurately, to approximate the real conditions of street lighting.

Discussion

Using the MATLAB program for spectrum modeling, we determined the mesopic luminance for luminaires operating at $T_{cp} = 5000$ K, 9% higher than the daytime luminance. Besides, it was possible to confirm the information from [1], that at higher daytime luminance the increment of mesopic luminance is less than at decreasing daytime luminance: at $L_p=1.54$ cd/m²: the increment of mesopic before photopic luminance is 2.7%, and for $L_p=0.61$ cd/m² – 5.6%. This fact, together with the application in our work of all CIE recommendations [3-5], including the one we translated from English, speaks for the reliability of the results obtained.

Conclusions

We propose a complex approach to determine mesopic values, using emission spectra of the luminaire in absolute units, by our developed program in MATLAB using the program of calculation and design of street lighting

Light-in-night road. So, we can get rid of some disadvantages that would be in the variant with the measurement of night luminance or emission spectra, for example, parasitic backlights and the difficulty of measuring these characteristics in the direction of the motorist. From the results, first of all, we note the largest and most significant excess of mesopic luminance over daytime luminance for street lighting luminaires of 11.6%, which was obtained for LED radiation with $T_{cp} = 7000$ K. It is also important for practice that it was possible to find the mesopic luminance for luminaires with $T_{cp} = 5000$ K by 9% exceeding the daytime luminance. For this variant we obtained a possible reduction in the number of luminaires by 5 pieces (each luminaire costs 29 thousand rubles) or by 9% per kilometer of road class B2 and energy saving also by about 9% while meeting the standards and maintaining the required uniformity of illuminance of the B2 class road. When switching from 4000 K to 5000 K it is possible to reduce the number of luminaires by 2 pieces (by 3.5%) per kilometer of road.

List of references

1. *Ilyina E.I.* Outdoor LED lighting of highways and city streets// Semiconductor lighting engineering. - 2010. - №4. - c. 50-55.
2. *Akashi, Y., Ohashi, R. and Uchida, T.* The Effect of Luminance Reduction on Foveal Task Performance while Implementing Mesopic Photometry in Street Lighting Standards // Journal of Science and Technology in Lighting, 2023.
3. CIE 191: 2010 Recommended System for Mesopic Photometry based on visual Performance.
4. CIE TN 004:2016 The Use of Terms and Units in Photometry – Implementation of the CIE System for Mesopic Photometry.
5. CIE TN 007:2017 Interim Recommendation for Practical Application of the CIE System for Mesopic Photometry in Outdoor Lighting.
6. *Goodman T.* Mesopic photometry: the problem is almost solved//Modern Lighting Engineering. - 2010. - №4. - c. 61-65.
7. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, 2019. BIMP - Principles Governing Photometry, 2nd Edition.

EFFECTS OF DYNAMIC COLOURED LIGHTING ON MOOD OF OCCUPANTS DURING THE ANTARCTIC POLAR NIGHT

*Wang Y.N., student; Wang T.Y., PhD; Wei L., student;
Shao R.D., researcher; Hao L.X., Professor
Tongji University, Shanghai, China*

Abstract

The prolonged darkness and monotonous environmental colours exert detrimental effects on mood during the Antarctic night. A dynamic coloured lighting experiment was conducted at the beginning, middle, and end nodes of the polar night in the Antarctic Health Cabin, where ECG signals, Semantic Differential Scale (SD), and Self-Assessment Manikin (SAM) were collected. The results indicated that as polar night time increased, HRV in DCL1 exhibited a decreasing trend while it initially increased and then decreased in DCL2. Subjective evaluations of both lighting patterns were positive. In DCL1, pleasure at the end of polar night was significantly better than in the middle ($P < 0.05$), and arousal levels at both middle and end nodes were significantly higher compared to it at the beginning of polar night ($P < 0.05$). In DCL2, pleasure was significantly higher at the beginning than in the middle of polar night ($P < 0.05$). This study revealed the potential impact of dynamic coloured lighting on enhancing the emotional well-being of the Antarctic Research Expedition during the polar night.

Keywords: Dynamic coloured lighting, Antarctic Health Cabin, Occupants in Antarctic, Polar night, Mood state

Introduction

The Antarctic is an extremely isolated environment, which often affects the mood of the Antarctic Research Expedition. This isolation is not only manifested in the physical environment, but also includes long periods of polar nights, extremely cold climates, and psychological isolation from home and loved ones. Together, these factors lead to emotional problems such as loneliness, anxiety and depression. In polar regions, mood disorders are common diagnoses and are significantly associated with gender, occupation, and residency, and social environment may have a greater impact on mental disorders than physical environment [1]. However, adaptation to long-term isolation and restriction in extreme environments occurs in multiple stages, and emotions show nonlinear changes. The tension and anxiety decreased first and then increased in the Antarctic winter [2, 3]. In line with the “third quarter phenomenon”, the mood of people in the isolation environment decreases shortly after the middle point of their stay [4]. Antarctica is known as the “White Desert”, the lack of vegetation and

other colour changes makes the visual diversity greatly reduced. This visual deprivation is exacerbated by prolonged darkness during polar night. Indoor lighting environment design plays a crucial role in the polar environment. Different lighting colours have a significant impact on mood, among which red light has the most significant emotional arouse, causing calm, irritation, relaxation, tension, stability and pleasure changes [5, 6]. Dynamic lighting had a significant effect on the perception of atmosphere. More saturated LED lights lead to a less tense, more comfortable, safer and more lively atmosphere perception, and a moderate rate of change can provide the most active and ideal atmosphere [7]. Human psychological domains are related to colour specific light effects, and heart rate variability is considered a useful tool for detecting acute effects of light on the autonomic nervous system. It also plays an important role in social communication and is positively correlated with performance on emotion recognition tasks [8, 9].

In this study, we conducted three experiments during the Antarctic winter, using two dynamic coloured lighting interventions to assess the mood changes of the expedition members during continuous polar darkness. The purpose of this study is to explore the effects of dynamic coloured lighting on the mood of the expedition members at different stages of polar night.

Research Methods

The lighting experiment was carried out in the Antarctic Health Cabin at Zhongshan Station. Thirteen male subjects (aged 37.92 ± 8.68) were recruited as the Antarctic Research Expedition for the overwintering mission. Two dynamic coloured lighting patterns (DCL1/DCL2) were set up in the experiment. Each pattern included 5000K functional lighting and 6 colours ambient lighting (Table1). This study was reviewed by the Medical and Life Science Ethics Committee of Tongji University (No.tjdxsr036), and all participants provided written informed consent.

Table 1. Chromaticity Coordinates of dynamic coloured lighting

Patterns	Chromaticity Coordinates	Colour1	Colour2	Colour3	Colour4	Colour5	Colour6
DCL1	x	0.2667	0.2894	0.1951	0.1484	0.1612	0.1802
	y	0.5730	0.1272	0.0836	0.0629	0.1048	0.1963
DCL2	x	0.1357	0.2873	0.2055	0.6966	0.1797	0.4455
	y	0.0580	0.5842	0.3082	0.3041	0.0768	0.4592

The experiments were conducted during the Antarctic polar night from May to July, and three lighting experiments were performed during the beginning, middle, and end of the continuous night at Zhongshan

Station. The single lead wireless ECG monitor was used to collect the ECG data of the subjects, focusing on the high frequency spectrum (HF) and low frequency spectrum (LF). A Semantic differential scale was used to describe participants' subjective feelings, and the scale has 14 sets of adjectives, including the satisfaction degree of the overall atmosphere, the feeling of lighting and colours. The Self-assessment Manikin was used to measure the mood state of the subjects, which used a 9-point scoring system and scored from three dimensions of pleasure, arousal and dominance. Through the comprehensive analysis of subjective and objective data, the effects of these two dynamic coloured lightings on the mood of expedition members in different periods of polar night were evaluated.

Results

Figure 1 shows that at the beginning of polar night, the HF under DCL1 was lower than that in DCL2, and the LF in DCL1 was higher than that in DCL2. At the middle and end of polar night, both HF and LF were higher in DCL2. With the increase of polar night time, HF and LF under DCL1 showed a decrease trend. HF and LF in DCL2 increased first and then decreased, and were the highest at the middle of polar night. However, there were no significant differences in ECG parameters under different lighting patterns ($P>0.05$).

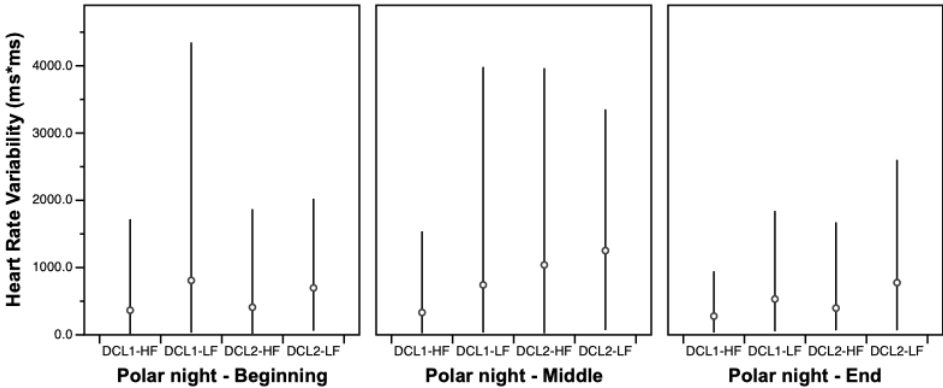


Fig. 1. Heart rate variability under different lighting conditions

Figure 2 shows that the subjective evaluations of both lighting patterns were positive. In DCL1, the lighting environment at the beginning and middle of polar night was warm, while was energetic and clear at the end of polar night. In DCL2, the lighting environment at the beginning and middle of polar night was bright, while was satisfied at the end of polar night. The number and changing speed of colours in the two lighting environments were moderate.

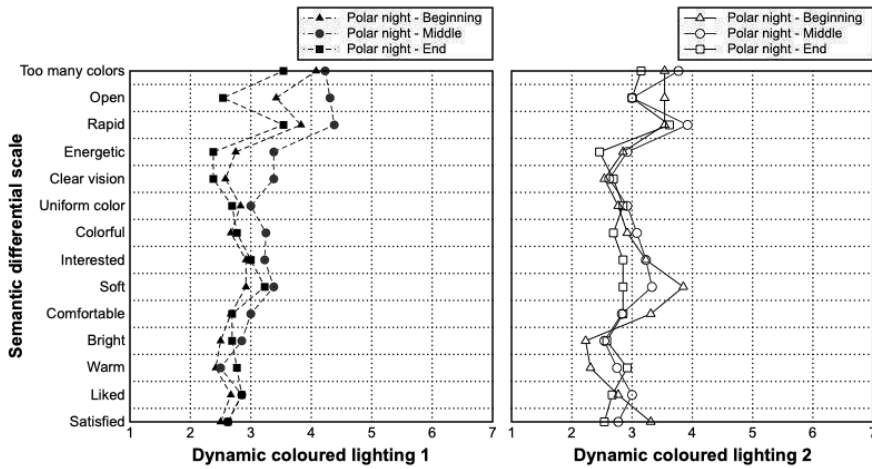


Fig. 2. Semantic differential scale scores under different lighting conditions

Figure 3 shows that in DCL1, pleasure at the end of polar night was significantly better than at the middle ($P < 0.05$), and arousal at the middle and end were significantly better than at the beginning of polar night ($P < 0.05$). In DCL2, pleasure was significantly better at the beginning than at the middle polar night ($P < 0.05$). The pleasure in DCL1 was significantly better than that in DCL2 at the end of polar night ($P < 0.05$). With the increase of the polar night time, arousal increased, pleasure and dominance decreased first and then increased.

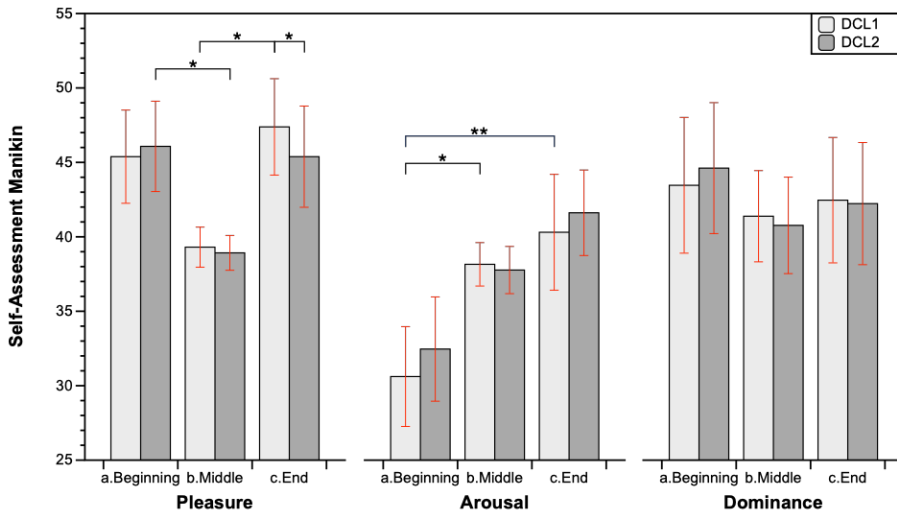


Fig. 3. Self-Assessment Manikin scores under different lighting conditions

Discussion

In terms of heart rate variability, the decrease of heart rate variability is related to anxiety, depression and other moods, often accompanied by the decline of emotional regulation ability. Increased heart rate variability is associated with the arousal of moods and with better mood states and emotional regulation. In DCL1, the HRV was the highest at the beginning of polar night, and gradually decreased with time, while in DCL2, the HRV first increased and then decreased. Overall, during the polar night, the HRV was higher in the DCL2 than it in the DCL1.

In terms of subjective evaluation, both lighting patterns were positive, and the number and speed of colours change were moderate. In DCL1, the lighting environment was warm, clear and energetic. In DCL2, the lighting environment was bright and satisfied.

In terms of emotional latitude, the changes of the three emotional latitude scores under the two lighting patterns were similar. With the increase of polar night time, the arousal showed an upward trend, while the pleasure and dominance decreased first and then increased. The score of pleasure in both patterns was highest, while the score of arousal was lowest. The score of pleasure exhibited a higher magnitude in DCL1 compared to DCL2, while the arousal and dominance scores demonstrated a greater intensity in DCL2 than those in DCL1.

Conclusion

The overwintering personnel of the Antarctic Research Expedition face the physical and psychological challenges of visual and colour deprivation during the polar night. Appropriate coloured lighting can help to regulate the mood and improve the psychological state. The results showed that there were significant differences at the mood state of expedition members in different coloured lighting patterns, highlighting the importance of lighting pattern design. The combination of science and technology with humanistic care, such as the introduction of the Antarctic Health Cabin, provided effective emotional support and health protection for the expedition members. At the same time, it pointed out the need to further explore the optimization of light parameters and the necessity of personalized healing programs in the future research.

Acknowledgments

This research was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 52078161), Foundation of the Department of Education of Guangdong Province (HITSZUQP21002), The Ministry of Education's Chunhui Plan Cooperative Research Project (HZKY20220300) and the Science and Technology Innovation Committee of Shenzhen

Municipality (Grant No. WDZC20220817125818001), HIT Exchange Project of Hong Kong, Macao and Taiwan (Joint Laboratory for Intelligent Living and Integrative Lighting).

List of References

1. *Palinkas, L.A., F. Glogower, M. Dembert, et al.*, Incidence of psychiatric disorders after extended residence in Antarctica. *Int J Circumpolar Health*, 2004. 63(2): p. 157–68.
2. *Palinkas, L.A. and M. Houseal*, Stages of change in mood and behavior during a winter in Antarctica. *Environ Behav*, 2000. 32(1): p. 128–41.
3. *Palinkas, L.A., J.C. Johnson, J.S. Boster, et al.*, Longitudinal studies of behavior and performance during a winter at the South Pole. *Aviat Space Environ Med*, 1998. 69(1): p. 73–7.
4. *Steel, G.D.*, Polar moods – Third-quarter phenomena in the Antarctic. *ENVIRONMENT AND BEHAVIOR*, 2001. 33(1): p. 126–133.
5. *Xie, X., J. Cai, H. Fang, et al.*, Affective Impressions Recognition under Different Colored Lights Based on Physiological Signals and Subjective Evaluation Method. *SENSORS*, 2023. 23(11).
6. *Xie, X., J. Cai, H. Fang, et al.*, Effects of colored lights on an individual's affective impressions in the observation process. *FRONTIERS IN PSYCHOLOGY*, 2022. 13.
7. *Wang, H.H., M.R. Luo, P. Liu, et al.*, A study of atmosphere perception of dynamic coloured light. *Lighting Research & Technology*, 2013. 46(6): p. 661–675.
8. *Quintana, D.S., A.J. Guastella, T. Outhred, et al.*, Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, 2012. 86(2): p. 168–172.
9. *Choi, C.J., K.S. Kim, C.M. Kim, et al.*, Reactivity of heart rate variability after exposure to colored lights in healthy adults with symptoms of anxiety and depression. *Int J Psychophysiol*, 2011. 79(2): p. 83–88.

AN FIELD STUDY ON ENERGY USAGE AND HUMAN COMFORT IN A SMART LIGHTING OFFICE

*Songbo Zhang, Hang Su, Mingxuan Wu, Biao Yang,
School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Shenzhen, China*

Abstract

Intelligent control systems can effectively reduce energy consumption during building operation, but there is a lack of rigorous empirical research of its energy-saving effects and impact on comfort. This study carried out a 129-day four-stage study by intelligently retrofitting the OCC intelligent system in real office spaces, while introducing an initial baseline and a parallel control group into the experimental design. A total of 69 volunteers participated in the empirical experiment. During the demonstration period, the data of environment sensors, human perception sensors and wireless intelligent controllers were collected, and structured questionnaire surveys were carried out for the treated group and the control group in four stages respectively. The comparative analysis results show that the intelligent retrofitting effectively reduces lighting energy consumption by 11.8% without compromising comfort.

Keywords: smart lighting; human factor; energy usage control

Introduction

The area of public buildings in China exceeds 15.2 billion square meters. The growth of large-scale public buildings and the increase in energy demand have caused an increase in the unit energy consumption of public buildings from 17 kgce/m² (in 2001) to over 26 kgce/m², indicating a rapid growth in energy consumption intensity. Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems and lighting systems are the key contributors to building energy consumption. The comfort and work efficiency of users are also significantly influenced by the thermal and visual environments from the ergonomics perspective [1]. To achieve a green and sustainable built environment and reduce carbon emissions, it is important to reduce energy consumption during building operation. Nowadays LED replacement have significantly reduced the lighting power density, hence the detection, control, and optimization of equipment operating becomes critical. In public spaces, especially in typical open-office scenarios, integrating intelligent lighting control and human-centric lighting is necessary to achieve energy efficiency while satisfying the comfort needs of occupants [2].

In this paper, building upon relevant prior research, we conducted an Intelligent Integrated Occupant Centered Control (IOCC) retrofitting within a real open office space around 200 m². The office layout comprised an open office area and three individual offices, which accommodated workforce of 100 individuals. The primary goal for this retrofitting was to conduct

empirical research aimed at evaluating the impact of the system on both building energy consumption and human comfort. Throughout this study, we assessed user satisfaction levels concerning the built environment before and after implementing the IOCC. Furthermore, we evaluated changes in both energy consumption and equipment usage time as results. Ultimately, we developed the IOCC framework that combined occupants' satisfaction with the air conditioning and lighting while simultaneously reducing energy consumption.

2. Methods

2.1 Experimental Design

We employ an empirical research approach within an interior design company located in Shenzhen, Guangdong Province, China. The study was conducted between July 26, 2022 and December 8, 2022. Two open office spaces located on the same floor, similar in size and symmetrically arranged along the central axis, were selected for our research. Specifically, the experimental group faced west, while the control group faced east.

The project is located in Shenzhen, having subtropical monsoon climate. Summer in Shenzhen is hot with rainfall, while winter is mild with little rainfall. The average monthly highest temperature ranges between 26°C and 32°C with high humidity levels, while the coldest month averages between 12°C to 20°C. The environmental needs indicates high need for HVAC system to meet cooling and dehumidification requirements. The yearly average sunshine hours in Shenzhen are 1980 hours. October is the most sun-filled month with an average of 223 hours of sunshine per month while the least sunny month is usually March with an average of 136 sunshine hours per month. Having adequate sunshine hours, however, the site choose close shading curtains regularly, with lighting fixtures left on. The experiment process was partitioned into four stages labeled A-B-C-D. During Stage A, the OCC system was installed but not operated, and users were not informed. During Stage B, the OCC system was installed, and users were informed of its operating, yet it was not activated. During Stage C, the smart control system was actively running. During Stage D, the OCC system was disabled, and users were not informed.

Both sites' occupants participated in this study. The primary experimental site was the Department A of the company, comprising a four-row open office space accommodating approximately 40 occupants, along with three additional offices, particularly a personal office (office 1), a meeting room (office 2), and a storage room (office 3). The control group has an east-facing orientation, accommodating approximately 50 occupants with similar layout and spatial proportions.

The intelligent OCC system contains four parts, including Occupant Detection Sensors, Environmental Information Sensors, Wireless Smart

Switches, Smart Meters. To achieve space management, firstly, the Occupant Detection part relies primarily on millimeter-wave radar to analyze personnel occupants and deliver signals [3]. Then ,combining the information received by Environmental Information part, the system uses these signals to determine the corresponding disturbance pattern in the area, generate its trajectory, filter out invalid disturbances, interpret the behavior trajectory of personnel, and utilize it as the basis for activating the corresponding Wireless Smart Switches in the given space [4]. Also, system utilizes intelligent switches to gather hourly air conditioning and lighting fixture operation hours data and site-wide energy usage by Smart Meter. The equipment will deactivated after TD once the system detects that the personnel have departed.

To minimize the influence of extraneous variables, we utilized a difference-in-differences (DID) method in our experimental design [5]. Data collection during each stage involved observing the duration of lighting fixture and air conditioning hourly usage [6],user occupancy, and environmental parameters (i.e., temperature, humidity, illuminance, and air quality) for the experimental group. Moreover, questionnaire was collected during each stage for both groups, the control group received no other interventions except the questionnaire. By applying the difference-in-difference approach, the impact of applying interventions on users' comfort perception was ascertained by contrasting the outcome differences between the experimental group and the control group before and after the intervention.

2.2 Site Retrofitting

To enhance the intelligence of the experimental site, the retrofitting project involves installing various equipment and sensors. In summary, the smart retrofitting project involves installing smart meters, environmental information sensors [7], millimeter-wave radar and PIR sensors, and wireless smart switches. These are designed to obtain energy consumption data, environmental parameters, and personnel behavior status, as well as to remotely control lighting, air conditioning, and window pushers the real scenario and its digital twin model [8] are shown in Fig. 1.

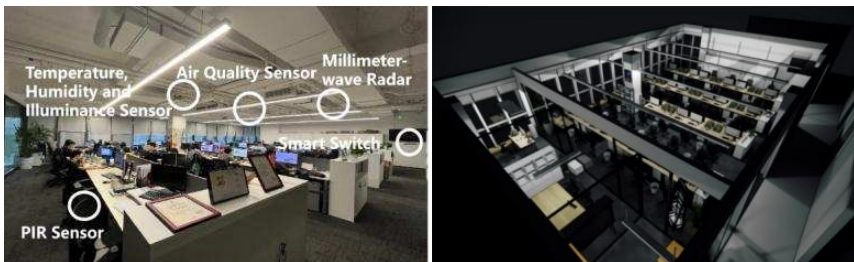


Fig. 1. Real retrofitting scenario(left) and its digital twin model (right)

After installation of the equipment, control strategies was configured according to realistic scenarios and specific requirements. The purpose of these strategies is to reduce inconsistencies between occupant behavior and operation of the equipment. The IOOC system controls the operation of the equipment based on the presence of occupants, turn on lights and air conditioning when recognize the occupants and turn them off when they leave [9]. In order to avoid causing inconvenience to users, several strategies are also set to prevent misjudgments. For example, the time delay (TD) strategy of 10 minutes will be implemented before turning off the equipment. Additionally, environmental parameters are used to determine whether immediate activation of air conditioning is necessary when personnel are detected [10], for example, if the temperature is below 26 degrees, the air conditioning will not activate immediately [11].

2.3 Analysis of Users' Comfort

To investigate the comfort situation of the occupants, we conducted the questionnaire survey throughout the entire experiment and mainly consists of five parts: basic information; sleep quality; Perceived Stress; Subjective vitality; environmental perception and psychological feelings.

The basic information section of the questionnaire mainly collects the seat number, gender, age, and work intensity of the subjects this week, with a total of three questions. The personal factors section mainly investigates the subjects' personal situation this week, including subjective performance with a total of three items.

Sleep quality and sleepiness with a total of ten items. The PSQI questionnaire [12] was used as the international standard questionnaire for sleep (a score greater than or equal to 8 indicates poor sleep quality). Perceived stress with a total of 14 items. The Perceived Stress Scale questionnaire [13] was used for perceived stress (≤ 28 means "low," ≤ 42 means "moderate," ≤ 56 means "high," and ≤ 70 means "very high"). Subjective vitality with a total of seven items. The Subjective Vitality Scale questionnaire [14] was used for vitality (the higher the score, the more positive emotions). The questionnaire design is based on Hedge's Sick Building Syndrome model [15], and it primarily consists of four parts: personal basic information, environmental factors, environmental perception, and psychological feelings.

The environmental factors section is mainly recorded by the experimenters, including indoor temperature and humidity, special point illuminance, etc. The investigation of environmental perception and utility includes thermal environmental quality with a total of three items, light environmental quality with a total of six items, and other factors with a total of two items. Two open-ended questions about optimization suggestions were included.

3 Results

3.1 Electricity consumption analysis

The power consumption analysis of the venue: After collecting the total daily power consumption for Phase B and Phase C (i.e., before and after the strategy was implemented) and excluding holidays, the average daily power consumption before the strategy was implemented was approximately 77.34 kWh. After the implementation of the strategy, the average daily power consumption was 68.16 kWh, which represents an 11.87% reduction. When further excluding weekends, the power consumption before the strategy was implemented was 83.65 kWh, and after implementation was 75.69 kWh, which leads to a reduction of 9.52%. The power consumption comprises the indoor socket power. Energy-consuming equipment, such as computer hosts, monitors, and water heaters, remain in a long-term power-on state, and thus the actual energy-saving rate may be underestimated to some extent.

Based on the analysis of power consumption before and after the strategy was implemented, it can be concluded that the intelligent control system is effective in reducing the energy consumption of office building operations, and the energy-saving effect is more significant on weekends, possibly due to the more dispersed presence of personnel on weekends.

3.2 Energy Usage of lighting fixtures

The usage time of lighting fixtures in the open space has reduced for fixtures 1, 3, and 4, with a maximum reduction rate of 30.25%. Fixture 2's usage time has increased by 8.23%. Before implementation, the average usage time was 14.50 hours with a sample variance of 3.0. After implementation, the average usage time was 12.55 hours with a sample variance of 0.73, representing a decrease of 13.36%. Fixture usage time after the strategy was uniformly lower, which may be because people have certain preferences when manually operating the equipment, while the intelligent control system can control the equipment opening more objectively.

For individual offices, the intelligent system is more effective in reducing energy consumption when people leave, achieving a reduction rate of 56.09%. In meeting rooms, the reduction rate was 25.89%, while the usage time reduction in the storeroom was negligible for comparison purposes.

3.3 Energy Usage of air conditioning

For the open space, the usage time of air conditioning units 1, 2, and 4 has decreased, and the highest reduction rate has reached 51.08%. The usage time of unit 3 has increased by 19.73%. The average usage time before implementation was 12.39 hours with a sample variance of 18.6. The average usage time after implementation decreased to 9.2 hours with a sample variance of 1.0, indicating a decrease of 25.96%. The usage time of air conditioning equipment after the strategy's implementation was more uniform, probably because people have certain preferences when manually operating the

equipment, while an intelligent control system can control the equipment more objectively. In individual offices, the reduction rate of usage time was 86.45%. In the meeting room, the reduction rate of usage time was 34.02%, while the overall usage time in the storeroom was too low to be meaningful for comparison.

3.4 User Questionnaire Analysis

A total of 233 questionnaires were distributed to both experimental and control groups at four different stages. 24 valid questionnaires (96 pages) were fully completed in all four rounds of the survey. Detailed information on the questionnaire collection process are shown in Fig. 2.

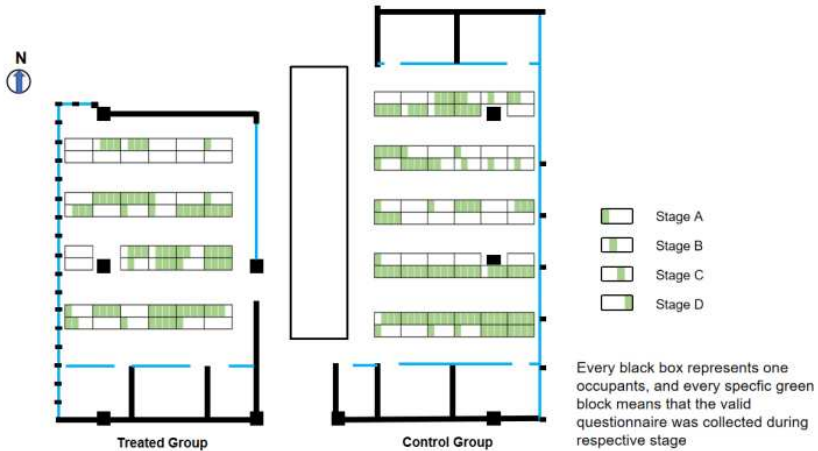


Fig. 2. Questionnaire distribution and collection statistics

The distribution and collection of survey questionnaires are statistically summarized in Fig. 2. The Double Difference Estimation (DID) analysis method was used to analyze the questionnaires collected to evaluate the subjective effects of the intelligent system on user comfort. The specific results are shown in Table. According to the survey results, the overall temperature ($p=0.000$), excessive sunlight ($p=0.043$), and thermal environmental comfort ($p=0.003$) were significantly improved ($p<0.05$) in Stage C compared to Stage A. However, no significant differences were found in the content of research between Stage B and Stage C or between Stage C and Stage D, which may be due to the Hawthorne effect, wherein users had an improved perception of the thermal environment [16]. Based on the questionnaire results, it was found that the glare near the window was significantly stronger. This is one of the reasons why curtains are commonly closed in such scenarios and artificial lighting is used. It also provides a reference for integrating daylighting and artificial lighting in the next step.

Conclusion

This study is based on intelligent retrofitting in real scenes, and through the analysis of human behavior and environmental information, explores the energy-saving potential and environmental comfort impact of intelligent retrofitting. According to the analysis of energy consumption and user behavior data in the experimental site for 129 days, it was found that after the experimental group used the intelligent strategy to automatically control lighting based on personnel detection, the electricity consumption was reduced to a certain extent. Before opening the strategy, the average daily electricity consumption was about 77.34 kWh, after opening the strategy, it was 68.16 kWh, a decrease of 11.87%. The average lighting time of the open office space decreased by 13.36%, the average air conditioning time decreased by 25.96%, and the uniformity of the equipment's opening time significantly improved. The lighting equipment usage time in personal offices decreased by 56.09%, and the air conditioning equipment usage time decreased by 86.45%, greatly reducing the usage time of terminal devices. The lighting equipment usage time in the conference room decreased by 25.89%, and the air conditioning equipment usage time decreased by 34.02%, which significantly reduced the usage time of terminal devices.

Using the DID method to analyze the impact of the intelligent control system on user perception, a questionnaire survey was conducted on both groups in four stages to collect individual factors and environmental perception conditions, including work performance, sleep quality, alertness, perceived pressure, subjective vitality, physical fitness, and indoor environmental impression. The survey results showed that compared with the situation before the strategy was informed and opened, the actual opening of the strategy significantly improved the thermal environment perception conditions and utility ($p < 0.05$), and there was no significant difference between the actual opening before and after the strategy, indicating that thermal comfort was not affected by the physical environment terminal intelligence retrofitting.

List of References

1. *Han Zhu, Xiangchao Lian, Yuxin Liu, et al.* Consideration of occupant preferences and habits during the establishment of occupant-centric buildings: A critical review. *Energy and Buildings*, 2023, 280, 112720.
2. *Christoph F. Reinhart.* Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, 2004, 77(1), 15–28.
3. *Miguel García-Monge, Belén Zalba, Roberto Casas, et al.* Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. *Energy and Buildings*, 2023, 285, 112882.

4. Zhao P, Lu C X, Wang J, et al. mID: Tracking and Identifying People with Millimeter Wave Radar. 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). 2019, 33–40.
5. Stephan Lindner, K. John McConnell. Difference-in-differences and matching on outcomes: a tale of two unobservables. *Health Services and Outcomes Research Methodology*, 2019, 19(2–3), 127–144.
6. Mahdavi A, Mohammadi A, Kabir E, et al. Occupants' operation of lighting and shading systems in office buildings. *Journal of Building Performance Simulation*, 2008, 1(1), 57–65.
7. Pei Zhou, Gongsheng Huang, Zhengwei Li. Demand-based temperature control of large-scale rooms aided by wireless sensor network: Energy saving potential analysis. *Energy and Buildings*, 2014, 68, 532–540.
8. D.R.G. Hunt. The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy. *Building and Environment*, 1979, 14(1), 21–33.
9. Rijal Wagiman K, Noor Abdullah M, Yusri Hassan M, et al. A review on sensing-based strategies of interior lighting control system and their performance in commercial buildings. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2009, 16(1), 208.
10. Pei Zhou, Gongsheng Huang, Linfeng Zhang, et al. Wireless sensor network based monitoring system for a large-scale indoor space: data process and supply air allocation optimization. *Energy and Buildings*, 2015, 103, 365–374.
11. Zhe Wang. How frequent should we measure the indoor thermal environment. *Building and Environment*, 2022, 222, 109464.
12. Buysse D J, Reynolds C F, Monk T H, et al. The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 1989, 28(2), 193–213.
13. Eleni Andreou, Evangelos C. Alexopoulos, Christos Lionis, et al. Perceived Stress Scale: Reliability and Validity Study in Greece. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2011, 8(8), 3287–3298.
14. Ryan R M, Frederick C. On Energy, Personality, and Health: Subjective Vitality as a Dynamic Reflection of Well-Being. *Journal of Personality*, 1997, 65(3), 529–565.
15. A. Hedge, P.S. Burge, A.S. Robertson, et al. Work-related illness in offices: A proposed model of the “sick building syndrome”. *Environment International*, 1989, 15(1–6), 143–158.
16. Rob McCarney, James Warner, Steve Iliffe, et al. The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. *BMC Medical Research Methodology*, 2007, 7(1), 30.

СВЕТОГОР

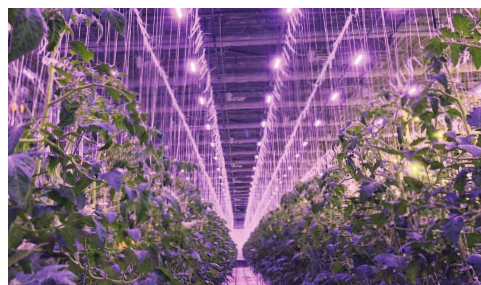


Передовые решения тепличного освещения с классическими натриевыми и инновационными светодиодными облучателями СВЕТОГОР.

Мы помогаем вырастить Вашу прибыль!



8 лет



> 600 Га



< 0.5% рекламаций



> 700.000 светильников

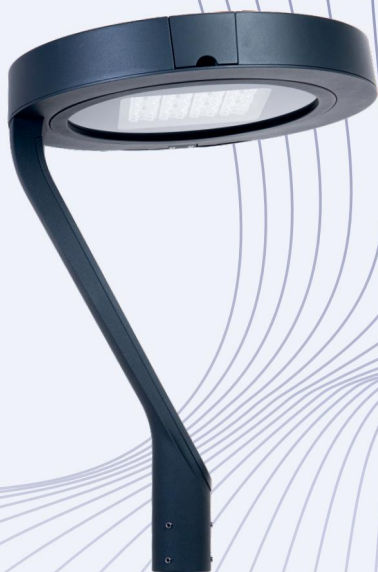
- **Доказанное качество и стабильность работы оборудования.**
- **Использование компонентной базы мировых лидеров в отрасли ассимиляционного освещения.**





Брайтэлек

надежные светильники



Российский производитель
светильников и металлоконструкций
для наружного освещения



brightelec.ru



+7(495) 514 10 79



info@brightelec.ru

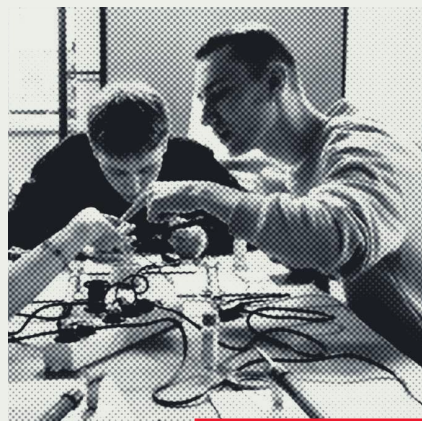
На правах рекламы

Построй карьеру в Arlight!

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ

интересную работу и возможность пройти практику в динамично развивающейся компании и предоставляем нашим сотрудникам возможность реализовать свой профессиональный потенциал.

* На правах рекламы.






Arlight входит в ТОП-5 крупнейших производителей светодиодного оборудования в России.


- Команда единомышленников и профессионалов своего дела.
- Возможности для постоянного развития и обучения.
- Практика и стажировка.
- Забота о сотрудниках.

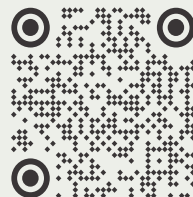
Связаться с нами:

hr@arlight.ru

arlight.ru

@arlight_rus |   

+7 (903) 291 6830 |  



Смотри наши видео

Подписано в печать 15.11.2024. Формат 70x100/16

Печать цифровая. Тираж 500 экз.

Заказ № 0410/24-2-И



Отпечатано с готовых диапозитивов в соответствии с предоставленными материалами заказчика.

Издательство «НИЦ АРТ». 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29 А.

E-mail: izdat@nic-art.ru. Тел.: +7(812)715-05-21